



**Bernardo Alexandre da Mota Veiga Fernandes** **ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE**  
**EDIFÍCIOS ESCOLARES DO 1º CICLO**

“Algumas pessoas querem que algo aconteça,  
outras desejam que aconteça e outras fazem  
acontecer” by Michael Jordan



**Bernardo Alexandre da Mota Veiga Fernandes** **ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE  
EDIFÍCIOS ESCOLARES DO 1º CICLO**

Relatório apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Apoio financeiro da Galp.

Dedico este trabalho à minha família e namorada pelo incansável apoio.

**o júri**

**Presidente**

**Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva**  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

**Arguente**

**Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues**  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

**Orientador**

**Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins**  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

À minha família por todo apoio, acompanhamento e ajuda em todos os momentos, tanto nas vitórias como nas derrotas.

À minha namorada por me ter ajudado a terminar mais uma etapa da minha vida, por todos os seus conselhos e compreensão ao longo deste tempo todo.

Aos meus amigos por todas as gargalhadas que demos ao longo deste tempo e às que vamos dar ainda.

À 5ª matrícula do mestrado de Engenharia Mecânica, pela nossa união, fomos um grupo. Vivemos muitas coisas junto, que ficarão na memória deste grande curso.

Ao meu orientador Nelson Martins por decifrar todos os meus mails e pela ajuda na discussão dos problemas encontrados.

A todos os funcionários do Município de Viseu pela forma como me ajudaram a integrar-me e a “conhecer os cantos à casa”.

À Eng. Paula, ao Eng. Nuno e ao Eng. Daniel do Município de Viseu por me terem ajudado tecnicamente em alguns pontos, mas também por me terem ensinado muitos conhecimentos.

Aos professores que passaram pelo meu percurso académico por terem me dado as bases técnicas que contribuíram para a execução deste relatório.

O apoio do TEMA através dos projetos integrados UID/EMS/00481/2013-FCT e CENTRO-01-0145-FEDER-022083.

Acknowledgement to the research unit integrated projects UID/EMS/00481/2013-FCT and CENTRO-01-0145-FEDER-022083

## palavras-chave

eficiência energética, energia, escolas, Designbuilder®, poupança, melhoria, simulação, consumo, clima, iluminação, aquecimento, combustível, pegada ecológica, LED, comportamentos, país, concurso

## resumo

Em Viseu a maioria das escolas são antigas, por vezes mal isoladas e, desde a sua construção, não sofreram remodelações, tendo atualmente muitas perdas energéticas. Nesse sentido, este estágio procura dar resposta a possíveis melhorias. Numa fase inicial, dividiram-se as 45 escolas primárias em 6 categorias, de acordo com, por exemplo, os materiais das estruturas e número de salas interiores. Recorrendo ao *software Designbuilder®*, explorou-se a introdução de isolamentos, mudança das lâmpadas e envidraçados, uso de *pellets* como fonte de energia para as caldeiras e implementação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo. Para que seja possível implementar estas estratégias, será necessário um investimento inicial de 650.000 €, sendo que este valor contempla também os gastos associados à manutenção para 25 anos. De acordo com os cálculos efetuados, será possível obter anualmente um lucro de 150.000 €, uma poupança energética de 64,7 tep e poupança ambiental de 217,7 toneladas de CO<sub>2</sub>. Além disso, os dados sugerem que as medidas supramencionadas conduzem a uma redução na fatura energética de 16,2 % do parque escolar e de 1,28 % do Município. Por último, estas medidas conduzem a uma taxa interna de rentabilidade (TIR) de 23 %, um valor atual líquido (VAL) de 2.561.487,96 €, uma poupança energética de 1.617,5 tep e ambiental de 5.442,5 ton de CO<sub>2</sub>, para um período de 25 anos. É de salientar que uma percentagem do lucro obtido deverá ser investida num concurso anual, que pretende estimular as medidas comportamentais das escolas no sentido de reduzirem os seus gastos energéticos. Esta iniciativa permitirá desenvolver e aumentar o espírito de eficiência energética na comunidade escolar e na sociedade envolvente. Além disso, a Câmara será responsável por investir outra percentagem do lucro em medidas de eficiência energética semelhantes a estas noutros edifícios municipais, tais como museus e complexos desportivos. Propõe-se ainda que seja elaborado um contrato de *performance* de energia entre a Galp e a Câmara. Em síntese, este estágio permitiu obter resultados de eficiência energética para as 45 escolas de Viseu, unicamente a partir de 6 tipos de escolas. Foi ainda possível extrapolar os resultados obtidos para o país, assumindo que as escolas nacionais se enquadram num dos 6 tipos de escolas definidas no presente relatório. Os resultados obtidos irão permitir otimizar valores da poupança energética, ambiental e financeira das escolas.

**keywords**

energy efficiency, energy, schools, Designbuilder®, saving, improvement, simulation, consumption, climate, lighting, heating, fuel, ecological footprint, LED, behaviors, country, contest

**abstract**

In Viseu the majority of the schools are old, sometimes poorly isolated and, since their construction, they did not have improvements and, nowadays have significant energetic losses. Therefore, this internship aims to achieve possible improvements. During the initial stage, the 45 elementary schools from Viseu were divided into 6 categories, according, for example, to the materials of the structures or number of inner rooms. Through the Designbuilder® software, several attempts were explored, covering the introduction of isolating materials, change of lamps and glasses, use of *pellets* as energy source to boilers and introduction of photovoltaic panels. In order to make these measurements possible, it will be required an initial investment of 650 thousand euros, which also covers maintenance expenses for 25 years. According to the performed calculations, it will be possible to achieve a yearly profit of 150 thousand euros, an energetic saving of 64.7 tep and environmental saving of 217.7 tons of CO<sub>2</sub>. Furthermore, there will be a reduction of 16.2% in the scholar park invoice and 1.28% in the total invoice from the city. Last, these measurements lead to a TIR value of 23%, a VAL of 2,561,487.96 €, an energetic saving of 1,617.5 tep and environmental saving of 5,442.5 ton of CO<sub>2</sub> for a period of 25 years. From this profit, a certain percentage will be attributed in a year-contest that aims to stimulate the measurements related to the human behavior inside the schools, so that the school community can reduce their energetic expenses. This will develop and increase the spirit of energetic efficiency among the scholar community and surrounding community. The City hall will be given another percentage of the profit, which will allow the development of similar energy efficiency actions by the City hall to other city buildings, such as museums and Sport centers Furthermore, it is proposed to develop an energy performance contract between Galp and the City hall. As a summary, only with 6 types of schools it was possible to obtain result for 45 schools from Viseu. It was also possible to extrapolate the results to all of the country, given that each school must belong to one of the 6 types defined throughout this report. The obtained values will allow to optimize the values of energetic, environmental and financial savings of the studied schools.



# Índice

1.	<i>Introdução</i>	1
1.1	<i>Contextualização</i>	2
1.2	<i>Objetivo geral do trabalho</i>	9
1.3	<i>Revisão bibliográfica</i>	10
1.3.1	<i>Simulação dinâmica de edifícios</i>	10
1.3.2	<i>Consumo de energia no setor escolar</i>	11
1.3.3	<i>Eficiência energética no setor escolar</i>	14
1.4	<i>Contributo deste trabalho de estágio</i>	15
2.	<i>Caracterização do parque escolar do 1º ciclo do Município de Viseu</i>	17
2.1	<i>Sumário</i>	18
2.2	<i>Clima</i>	18
2.3	<i>Modelação</i>	19
2.4	<i>Zonamento</i>	26
2.5	<i>Taxas de ocupação</i>	27
2.6	<i>Iluminação</i>	29
2.7	<i>Equipamentos</i>	31
2.8	<i>Consumo energético</i>	34
2.9	<i>Sistema de aquecimento</i>	35
2.10	<i>Estimativa da energia gasta para AQS</i>	37
2.11	<i>Tempo de simulação</i>	37
2.12	<i>Medidas de eficiência energética já implementadas</i>	37
2.13	<i>Conclusão do capítulo 2</i>	39
3.	<i>Metodologia de análise</i>	41
3.1	<i>Sumário</i>	42
3.2	<i>Caraterização do parque edificado</i>	42
3.3	<i>Critérios de agregação em edifícios tipo</i>	42
3.4	<i>Definição de edifícios tipo</i>	44
3.5	<i>Conclusão do capítulo 3</i>	51
4.	<i>Medidas de reabilitação energética</i>	53
4.1	<i>Sumário</i>	54
4.2	<i>Critérios de hierarquização de medidas de eficiência energética</i>	54

4.3	<i>Alteração da temperatura do set point da caldeira .....</i>	56
4.4	<i>Saúde vs Poupança .....</i>	57
4.5	<i>Substituição de caldeiras/ou o seu combustível.....</i>	60
4.6	<i>Alteração do horário de funcionamento da iluminação .....</i>	62
4.7	<i>Tecnologia LED .....</i>	63
4.8	<i>Colocação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo .....</i>	70
4.9	<i>Alteração de comportamentos.....</i>	73
4.10	<i>Substituição dos envidraçados .....</i>	73
4.11	<i>Reforço de isolamento.....</i>	79
4.12	<i>Conclusão do capítulo 4 .....</i>	82
5.	<i>Análise e discussão de resultados .....</i>	83
5.1	<i>Sumário .....</i>	84
5.2	<i>Avaliação técnico económica da viabilidade de implementação.....</i>	84
5.2.1	<i>Local .....</i>	84
5.2.2	<i>Global .....</i>	93
5.3	<i>Conclusão do capítulo 5 .....</i>	100
6.	<i>Conclusão e Trabalho futuro .....</i>	101
6.1	<i>Síntese do trabalho realizado.....</i>	102
6.2	<i>Principais Conclusões .....</i>	102
6.3	<i>Propostas de trabalho futuro .....</i>	103
	<i>Referências.....</i>	105
	<i>Anexos .....</i>	107

## Lista de Abreviaturas

AQS	Água Quente Sanitária
CE	Caso de Estudo
CEB	Centro Escolar Básico
EPS	Poliestireno Expandido
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite System</i>
LED	Light Emitting Diode
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
UPVC	<i>Unplasticized polyvinyl chloride</i>
VAL	Valor Atual Líquido
XPS	Poliestireno Extrudido

# Lista de Figuras

<i>Figura 1- Município de Viseu .....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2- Logótipo do projeto Galp 21 .....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 3- Emissões setoriais em CO<sub>2</sub>e em Portugal no ano de 2016, retirado de [5] .....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 4- Consumo total de energia primária, retirado de [7] .....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 5- Energia usada globalmente, retirado de [8] .....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 6- Notícias sobre combustíveis fósseis, retirado de [9] .....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 7- Simulação térmica de um edifício, retirado de [10]      Figura 8- Simulação da iluminação, retirado de [11] .....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 9- Programas usados para simular – Designbuilder® (esquerda); LDTeditor (central); dialux (direita) .....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 10- Logótipo Escola + Eficiente, 2017 .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 11- Logótipo Escola + Eficiente, 2016 .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 12- Parâmetros climáticos de Viseu no Designbuilder®- localização, temperatura de hora em hora e o design do tempo no Inverno (esquerda); o design do tempo no verão (direita) .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 13- Exemplo da modelação de um caso de estudo no Designbuilder® .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 14- Simulação da densidade da iluminação numa sala de aulas em 2D (esquerda) e em 3D (direita), ambas no dialux .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 15- Inputs do programa .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 16- Exterior da sala, vista da alvenaria .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 17- Interior da sala, vista do reboco .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 18- Desenho do telhado (Esquerda); Desenho ampliado do telhado - confirmação do ângulo 30°C (direita) .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 19- Ilustração em 3D do 1º andar de uma escola .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 20- Ilustração em 3D do rés de chão de uma escola .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 21- janela real de uma escola com estores em tecido .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 22- Vista lateral da janela .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 23- Vista frontal da janela da frente .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 24- Inputs das janelas no Designbuilder® .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 25- Vista frontal de vários tipos de janelas .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 26- Vista frontal de uma escola .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 27- Escola em 3D com zonamento nas escadas .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 28- Desenho em 3D das casas de banho num só espaço .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 29- Taxas de ocupação das várias zonas, casa de banho (canto superior esquerdo); Sala de aulas (canto inferior esquerdo); Telhado (canto superior direito) e corredor (canto inferior direito) .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 30- Caixilho duplo com 2 lâmpadas de 58 W .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 31- Inputs da iluminação .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 32- Computador usado nas salas .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 33- Inputs do computador .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 34- Impressora usada nas salas de aula .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 35- Projetor usado nas salas de aula .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 36- Inputs de outros equipamentos .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 37- termoacumulador usado nas escolas .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 38- Inputs do sistema de aquecimento .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 39- Sistema de aquecimento com 1,6 kW .....</i>	<i>36</i>

<i>Figura 40- Características do Caso de Estudo 1 .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 41- Características do Caso de Estudo 2 .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 42- Características do Caso de Estudo 3 .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 43- Características do Caso de Estudo 4 .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 44- Características do Caso de Estudo 5 .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 45- Características do Caso de Estudo 6 .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 46- 2ª Opção de mapeamento .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 47- 1ª Opção de mapeamento .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 48- 3ª Opção e a ideal de mapeamento .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 49 - Características do alumínio simples (esquerda); características do UPVC (direita).....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 50- Quadro resumo da proposta de negócio .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 51- Lâmpada atual de 20W.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 52- Lâmpada atual T8 58W.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 53- Lâmpada atual T8 36W.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 54- Lâmpada LED para trocar a atual de 20W.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 55- Lâmpada LED para trocar atual de 36W.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 56- Lâmpada LED para trocar atual de 58W.....</i>	<i>108</i>

## Lista de Gráficos

<i>Gráfico 1- Consumo geral de energia do Município de Viseu, em 2017 .....</i>	<i>12</i>
<i>Gráfico 2- Tipos de combustível e o consumo no parque escolar .....</i>	<i>13</i>
<i>Gráfico 3- Viabilidade das lâmpadas LED com mapeamento .....</i>	<i>70</i>
<i>Gráfico 4- Viabilidade dos painéis fotovoltaicos .....</i>	<i>72</i>
<i>Gráfico 5- Viabilidade dos envidraçados .....</i>	<i>76</i>
<i>Gráfico 6- Viabilidade das persianas .....</i>	<i>79</i>
<i>Gráfico 7- Viabilidade do isolamento .....</i>	<i>81</i>

# Lista de Tabelas

<i>Tabela 1- Fatores de conversão existentes .....</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2- Tipo de combustível usado no Município de Viseu.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 3- Tipo de combustível usado no parque escolar do Município de Viseu .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 4- Nº de alunos, área das salas de aula e taxa de ocupação da CEB São Miguel .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 5- Preço de kWh por tipo de combustível.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 6- Poupança da mudança da temperatura de set point.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 7- Ventilação atual e a recomendada .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 8- Gastos energéticos com o melhoramento da ventilação .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 9- Gastos no tempo de vida (25 anos).....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 10- Tipo de combustível, gastos financeiros e energéticos anuais do estado atual .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 11- Tipo de combustível, gastos financeiros e energéticos anuais do estado melhorado ...</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 12- Poupanças energéticas, financeiras e ambientais anuais.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 13- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 14- Horário de funcionamento atual e novo .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 15- Iluminação no estado atual e o estado mínimo .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 16- Iluminação no estado de melhoria.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 17- Viabilidade da substituição de lâmpadas para LED .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 18- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 19- Viabilidade da mudança do mapeamento da iluminação .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 20- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 21- Viabilidade da conjugação de todas as hipóteses.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 22- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 23- Estudo da implementação de painéis fotovoltaicos.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 24- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 25- Constituição de vários tipos de vidro.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 26- Investimentos e poupanças anuais para a mudança de envidraçados.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 27- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 28- Viabilidade das persianas- tecido vs alumínio .....</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 29- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>79</i>

<i>Tabela 30- Preço de aquisição de EPS consoante a espessura.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 31- Preço de aquisição da lã de rocha consoante a espessura .....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 32- Investimentos e poupanças anuais na implementação de isolamentos .....</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 33- Poupanças ao longo do tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 34- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 35- Investimento e poupanças anuais das escolas do caso de estudo 1 .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 36- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 37- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 38- Investimento e poupanças anuais das escolas do caso de estudo 2 .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 39- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 40- Investimento e poupanças por escola consoante a orientação do edifício.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 41- Investimento e poupanças das escolas do caso de estudo 3.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 42- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 43- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 44- Investimento e poupanças anuais das escolas do caso de estudo 4 .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 45- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 46- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 47- Investimento e poupanças das escolas do caso de estudo 5.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 48- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 49- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 50- Investimento e poupanças anuais das escolas do caso de estudo 6 .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 51- Poupanças no tempo de vida (25 anos) .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 52- Investimento e poupanças anuais do parque escolar do Município de Viseu .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 53- Poupanças do CE1 em Portugal .....</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 54- Poupanças para o CE2 em Portugal .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 55- Poupanças do CE3 em Portugal .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 56- Poupanças do CE4 em Portugal .....</i>	<i>97</i>
<i>Tabela 57- Poupanças do CE5 em Portugal .....</i>	<i>98</i>
<i>Tabela 58- Poupanças do CE6 em Portugal .....</i>	<i>99</i>



# *1. Introdução*

## 1.1 Contextualização

A zona metropolitana de Viseu situa-se no interior centro de Portugal e integra vários Municípios, como Viseu, Vouzela, ou São Pedro do Sul. O Município de Viseu (Figura 1) tem a seu cargo a gestão de um vasto conjunto de infraestruturas, entre as quais se contam várias escolas do primeiro e segundo ciclos de estudos, onde os encargos com energia assumem um valor significativo, que se pretendem compreender e racionalizar. Neste trabalho, serão analisados os jardins de infância e as escolas básicas (atualmente denominados por centros escolares básicos), perfazendo um total de 68 casos de estudo. É necessário referir que a maioria das escolas do Município de Viseu é de construção antiga, com paredes em pedra e telhados em madeira com forro, com um simples isolamento térmico. Este tipo de construção leva a perdas caloríficas significativas, conduzindo a um elevado consumo energético para a função de aquecimento no inverno. Atualmente, a maioria da energia consumida para satisfazer essas necessidades energéticas provém de combustíveis fósseis, que são um recurso inexistente em Portugal.



Figura 1- Município de Viseu

Neste sentido, o programa Galp 21 (Figura 2) destaca-se como uma oportunidade de valorizar a economia circular e otimizar a eficiência energética nas escolas. Galp 21 é um programa em cooperação com 3 universidades (Universidade de Aveiro, Instituto Superior Técnico e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) que tem como finalidade o desenvolvimento de 21 trabalhos/estágios anuais por estudantes, com vista à identificação

de sistemas e comportamentos energéticos racionais, aplicáveis na indústria e edifícios [1]. Para tal são feitas auditorias energéticas e a averiguação dos regulamentos técnicos de energia e de segurança nas redes e dos equipamentos envolvidos, a empresas clientes da Galp Energia.

Sendo o Município de Viseu uma organização cliente da Galp desde 2017, este programa de estágios visa reduzir o consumo de energia no aquecimento nas escolas do Município (total de 68 escolas, das quais 59 são escolas básicas e as restantes 9 são jardins de infância).



*Figura 2- Logótipo do projeto Galp 21*

De acordo com os dados cedidos pelo Município, o orçamento anual energético é de aproximadamente 4 milhões de euros, pelo que se deve apostar tanto na redução e poupança de recursos não-renováveis, como na inovação dos renováveis. O Município tem já implementado várias medidas que procuram promover a eficiência energética em algumas escolas, como é o caso da escola Massorim, em que já se trocaram as lâmpadas para LED. Estas estratégias têm como objetivo-último minimizar o uso de combustíveis fósseis. Os combustíveis fósseis são originados a partir da desintegração de restos de plantas e animais da Era pré-histórica ao longo de milhões de anos, e pela sua consequente substituição por simples cadeias de hidrocarbonetos, na forma de sólidos e líquidos. Estes combustíveis têm uma grande taxa de combustão, o que resulta numa libertação de grande quantidade de energia. Além disso, outra vantagem é o facto de se encontrarem muito facilmente e em abundância, principalmente o carvão. O seu transporte é mais fácil que as outras energias, para além de que o seu processo de extração e de processamento também é mais simples. Contudo, um dos aspetos negativos destes combustíveis são os gases poluentes que advêm do seu uso. Apesar da facilidade de transporte, é necessário controlar cuidadosamente a existência de fugas, que podem tornar o transporte mais perigoso.

Além disso, estes combustíveis são limitados e poluem muito durante a extração e

transporte, sendo cada vez mais recomendado utilizar recursos naturais (sol, vento, mar) para conseguir extrair energia.

Em Portugal, têm vindo a ser desenvolvidos alguns incentivos empresariais para a investigação e remodelação dos pontos de consumo de energia. Nesse sentido, deve ser destacado o Projeto 2020, em que as empresas são reembolsadas financeiramente, consoante a implementação de medidas que promovam a eficiência energética, tais como a produção e distribuição de energia proveniente de fontes renováveis [2]. Complementarmente, são valorizadas ações mais triviais, tais como desligar os computadores após a sua utilização e diminuir a temperatura dos termostatos e das caldeiras.

Muitos países colocaram metas às indústrias, no intuito de delimitarem a produção de gases de efeito de estufa. Contudo, algumas empresas pagam reduções nas suas produções de gases, isto é, importam produtos de outras empresas que têm diplomas de redução de CO<sub>2</sub> [3].

Outra das preocupações atuais consiste em diminuir a produção destes gases de efeito de estufa no sector dos transportes. Algumas estratégias consistem em limitar o uso de carros de Euro 6.2. [4] em centros de cidades ou estimular o potencial dos carros elétricos.

A queima de combustíveis fósseis gera energia, mas acima de tudo liberta altos índices de poluição ambiental, nomeadamente para a atmosfera. Esses índices são vistos posteriormente na intensificação do efeito de estufa e das chuvas ácidas, o que provoca o aumento da temperatura do planeta e por conseguinte o derretimento parcial das calotas polares e o aumento do nível do mar. Para além destas consequências, mais eventos climáticos extremos (ondas de calor, furacões e secas) podem ocorrer, afetando desse modo os sistemas naturais e a produção agrícola, o que interfere diretamente com a segurança alimentar mundial.

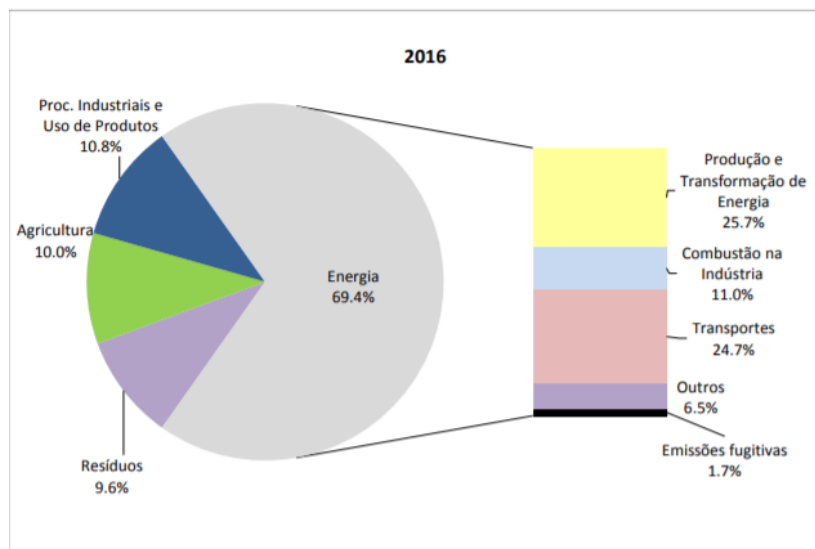


Figura 3- Emissões setoriais em CO<sub>2</sub>e em Portugal no ano de 2016, retirado de [5]

Na Figura 3, encontram-se representadas as emissões de CO<sub>2</sub> relacionados com o setor da sua produção. Constatase que as etapas de produção e transformação de energia são os que apresentam maior libertação de CO<sub>2</sub> equivalente. De seguida, surgem os transportes e em terceiro a combustão na indústria. Neste sector salientase que existem indústrias que só conseguem usar exclusivamente petróleo, como as indústrias petroquímicas, cujos valores são mais difíceis de baixar e de trocar por outros combustíveis ainda. Com o uso excessivo, os reservatórios de energias fósseis estão a acabar, o que leva à procura de outras fontes de energia: as energias renováveis.

As energias renováveis são aquelas que se formam através de recursos naturais que são reabastecidos naturalmente. Contudo, nem todos os recursos naturais são renováveis, como é o caso do carvão e do petróleo, porque são limitados e o seu tempo de formação é demorado. Com o sol, vento, chuva e marés consegue-se produzir energia de um modo economicamente sustentável e utilizar sobre a forma de eletricidade ou calor. Para além destas energias serem ilimitadas, são amigas do ambiente, ou seja, libertam poucas quantidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Existem várias energias renováveis consoante o recurso natural utilizado [6]:

- Biomassa: produção de energia através de matéria de origem vegetal;
- Energia solar: produção de energia através dos raios solares, provenientes do sol. Desvantagem de ter ainda um elevado custo de produção;
- Energia eólica: produção de energia gerada a partir da força do vento através de aerogeradores;
- Biodiesel: substitui de certo modo o óleo diesel do petróleo em motores de ciclo diesel, mas é uma fonte que produz o esgotamento do solo;

Num Mundo em que as notícias atuais estão maioritariamente relacionadas com os carros elétricos, o Município de Viseu investiu numa frota de 4 carros elétricos, no intuito de diminuir a sua pegada ambiental e minimizar os seus encargos financeiros. Apesar dos carros elétricos também poluírem na sua fase de construção devido às baterias, a curto-médio prazo é possível abater esse valor, o que constitui uma vantagem energética e financeira.

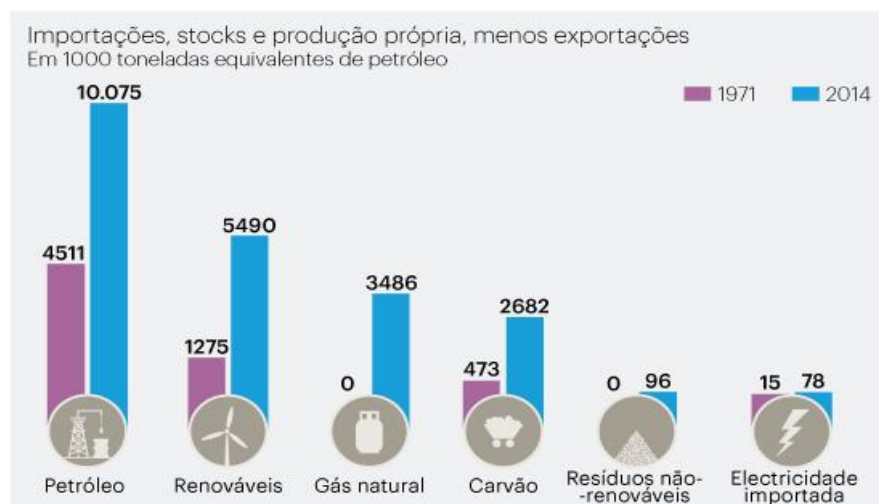


Figura 4- Consumo total de energia primária, retirado de [7]

A análise da Figura 4 permite concluir que apesar do consumo de energias renováveis estar a aumentar, o consumo de petróleo também aumentou, e até mais que as energias renováveis. Além disso, é de salientar o crescimento das importações de gás natural.

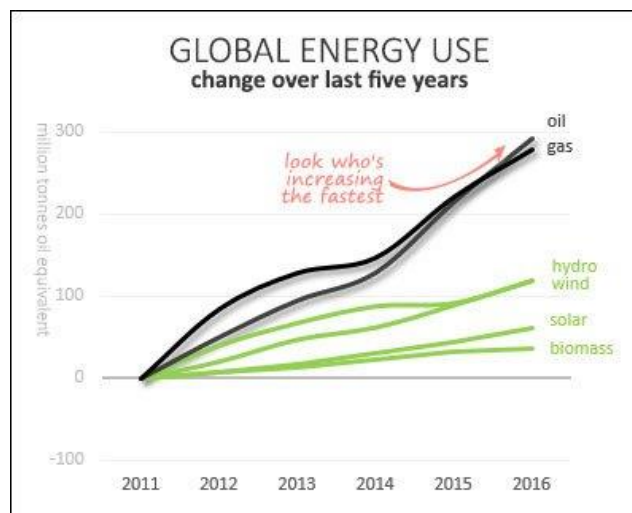


Figura 5- Energia usada globalmente, retirado de [8]

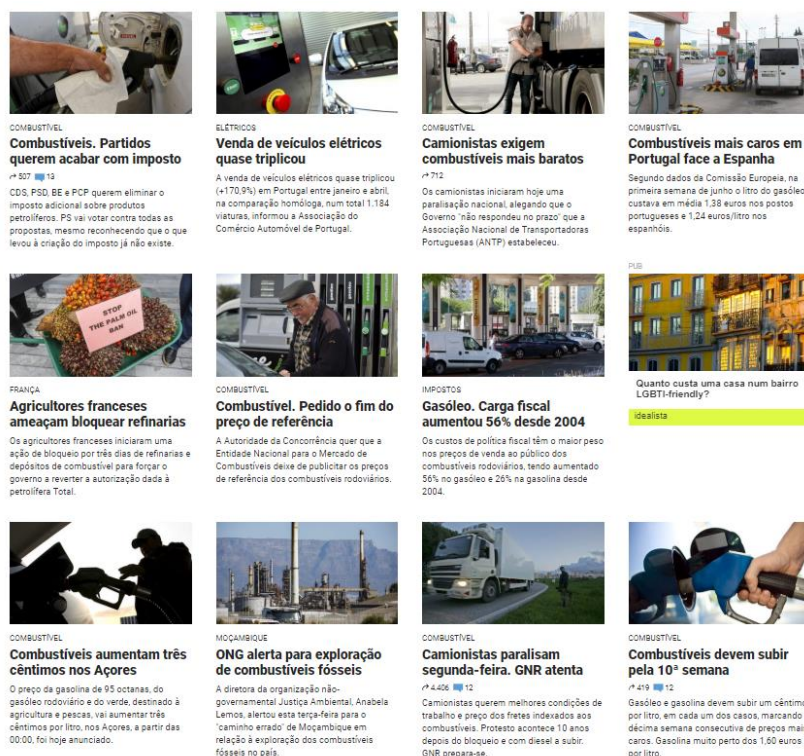


Figura 6- Notícias sobre combustíveis fósseis, retirado de [9]

Nas Figuras 5 e 6, estão ilustradas algumas notícias atuais, que discutem a utilização de petróleo e carros elétricos no setor dos transportes. Além do setor dos transportes, existem outros setores onde se pode reduzir o uso de combustíveis fósseis, como é o caso da iluminação e do aquecimento nas escolas.

Este estágio procura discutir também a utilização e racionalização de combustíveis fósseis, como o gasóleo e gás natural, para o aquecimento nas escolas do Município de Viseu.

### *Pegada Ecológica*

A pegada ecológica está associada ao consumo excessivo de energia, nomeadamente energia fóssil. Ao longo de muito tempo, estes combustíveis foram utilizados sem uma devida racionalização. Com o decorrer da sua utilização, foram desenvolvidos avanços tecnológicos que permitiram descobrir e estudar novos combustíveis menos poluentes, como os combustíveis renováveis.

Um dos meios de avaliar a poluição ambiental é através das emissões de CO<sub>2</sub> associadas à redução de kWh. Para isso é necessário converter a energia final (kWh) em energia primária (kWh<sub>ep</sub>) e depois calcular as emissões de CO<sub>2</sub> associadas a essa energia primária. Existem diversas estratégias para calcular esses valores, tais como:

- i) método passo a passo, ou
- ii) utilização de fatores de conversão já trabalhados que permitem obter o resultado final (CO<sub>2</sub>), eliminando os passos intermédios (cálculo de energia primária).

Os fatores de conversão existentes, que estão resumidos na Tabela 1, encontram-se no Despacho n.º15793-D/2013 retificado pela Declaração de retificação n.º 129/2014 e no Despacho n.º 17313/2008.

*Tabela 1- Fatores de conversão existentes*

<i>Fonte de energia</i>	Fator conversão [kWh <sub>ep</sub> /kWh]	PCI [MJ/kg]	PCI [tep/ton]	Fator conversão [tep/kWh]	FE [kgCO <sub>2</sub> e/GJ]	FE [kgCO <sub>2</sub> e/tep]	FE [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	FE [kgCO <sub>2</sub> e/kWh]
Energia Elétrica	2,5			0,000215			0,3600	0,4700
Gasóleo/Diesel	1	42,8	1,022	0,000086	74,0	3098,2	0,2670	0,2663
Gás Natural	1	45,1	1,077	0,000086	64,1	2683,7	0,2020	0,2307
GPL	1	46,7	1,115	0,000086	63,0	2637,7	0,1700	0,2269
Madeira/Resíduos de Madeira	1	14,7	0,352	0,000086	0,0	0,0		
Peletes/Briquetes de Madeira	1	16,8	0,401	0,000086	0,0	0,0		
Renováveis	1				0,0	0,0	0,0000	0,0000
N. A.								



## *1.2 Objetivo geral do trabalho*

O objetivo geral deste estágio é estudar a eficiência energética de edifícios municipais, em particular nas escolas, nomeadamente no que se refere aos sistemas de aquecimento e iluminação.

Com este estágio, pretende-se caracterizar do ponto de vista energético os vários tipos de edifício escolares existentes, construídos em diferentes épocas. Com base nos resultados obtidos procurar-se-á identificar e propor oportunidades de melhoria na área da racionalização do consumo e da gestão de energia.

A concretização deste objetivo envolve o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar as escolas no que se refere às soluções construtivas adotadas;
- Caracterizar os sistemas ativos e passivos das escolas tipo nomeadamente sistemas de aquecimento, iluminação, ventilação, entre outros;
- Analisar o consumo energético das escolas em estudo;
- Organizar as escolas segundo padrões de consumo (definição de escolas tipo);
- Desenvolver um modelo energético para as escolas tipo;
- Afinar o modelo energético desenvolvido para as escolas tipo;
- Simular medidas de racionalização de consumo;
- Avaliar técnica e economicamente propostas de medidas de utilização racional de energia (Investimento e Retorno).

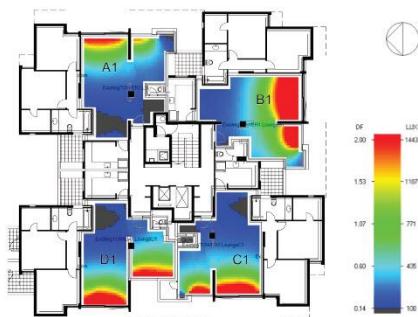
## 1.3 Revisão bibliográfica

### 1.3.1 Simulação dinâmica de edifícios

Cada vez mais, nos dias que correm, os projetistas preocupam-se com o investimento de cada obra, isto é, com a escolha de materiais, com o tempo de obra e com os riscos na sua construção, nomeadamente queda de edifícios e a segurança das pessoas. Com este pensamento, surgiram programas de simulação, que ajudam a simular todo o tipo de hipóteses e riscos, bem como em termos térmicos (Figura 7) e luminosos (Figura 8).

É necessário referir que é preciso inserir os dados iniciais de acordo com a realidade (ou próxima da mesma), no que diz respeito a tipos de materiais, medidas de construção ou local onde se encontra o edifício. As simulações permitem testar teorias e confirmar se correspondem ao esperado, sendo necessário fazer uma análise crítica em relação aos resultados obtidos.

Neste caso de estudo, as simulações permitiram: i) estudar o consumo de energia na escola, tanto em termos de divisórias e de equipamentos; ii) estudar melhorias a nível de construção: inserir vidro duplo, revestimentos em locais de perdas significativas de energia; iii) estudar a utilidade financeira. Com isto, pretendeu-se obter uma redução no consumo de energia e nas despesas financeiras.



Para a simulação energética usou-se o *Designbuilder*<sup>®</sup> (Figura 9, esquerda), que corresponde a um programa em que se modela um edifício e se insere todos os seus aspetos construtivos, bem como térmicos. Este programa é importante, pois consegue simular a térmica de um edifício de forma virtual e ver onde ocorrem os maiores gastos.

Para auxiliar, usou-se o *LDT editor* (Figura 9, central), um programa em que se podem alterar as características das lâmpadas, nomeadamente, potência, quantidade e lúmens. Para completar o estudo, utilizou-se ainda outro programa denominado *dialux* (Figura 9, direita). Este foi usado para simular a iluminação dos espaços, tanto a luminância.



*Figura 9- Programas usados para simular – Designbuilder<sup>®</sup> (esquerda); LDTeditor (central); dialux (direita)*

### *1.3.2 Consumo de energia no setor escolar*

De acordo com os dados fornecidos pelo Município de Viseu, existe um grande consumo energético anual no Município (24 GWh/ano, em 2017), dividido entre edifícios municipais, parque escolar, complexos desportivos, parques urbanos, Instituto Politécnico, semáforos, sistemas de rega, eventos e sanitários, como mostra o Gráfico 1.



Gráfico 1- Consumo geral de energia do Município de Viseu, em 2017

Pela análise do gráfico 1, conclui-se que o Instituto Politécnico é responsável pelo maior consumo de energia (ca. 73 %). Em segundo lugar encontra-se o parque escolar, que é o foco do presente trabalho (ca. 12 %).

Na Tabela 2 encontram-se sumariados os gastos energéticos e financeiros de todo o Município de Viseu. Observou-se que o tipo de combustível que apresentava maior consumo era a energia elétrica (ca. 91%), logo a seguir o gás natural com 4 %. O gasóleo e o gás de botija apesar de apresentarem pouco consumo relativamente aos outros tipos, são os que apresentam um maior preço de aquisição, daí um interesse em reduzir estes dois tipos. De notar que o Município, em 2017, gastou cerca de 4.000.000 € em energia.

Tabela 2- Tipo de combustível usado no Município de Viseu

		Total	
		kWh/ano	€ (c/iva)
2017	Energia Elétrica	22 500 000,00	3 800 000,00
	GN	1 200 000,00	69 000,00
	Gasóleo	810 000,00	94 000,00
	Gás Botija	43 000,00	4 900,00
TOTAL		24 553 000,00	3 967 900,00

De acordo com os dados fornecidos pela empresa, no setor escolar (Tabela 3), o parque escolar consome 2.885.000 kWh/ano, o que equivale a 11,7% do consumo total do Município, o que é pouco face ao Instituto Politécnico. Mas, contudo, é o terceiro setor que gasta mais energia e por isso tem interesse em reduzir, e dessa maneira, foi necessário

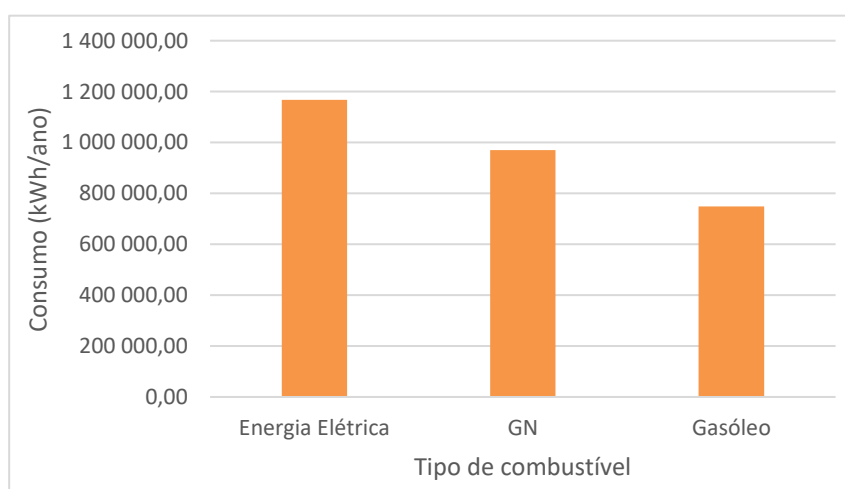
encontrar medidas que baixassem este valor e, por conseguinte, satisfizessem as necessidades dos alunos. Mais uma vez, o tipo de combustível mais usado é a energia elétrica, sendo a que apresenta mais gasto, já no parque escolar não existe consumo de gás de botija. O consumo de gasóleo no parque escolar é 92 % do consumo total de gasóleo no município.

*Tabela 3- Tipo de combustível usado no parque escolar do Município de Viseu*

Parque escolar		Total	
		kWh/ano	€ (c/iva)
2017	Energia Elétrica	1 167 981,37	239 570,72
	GN	969 514,32	54 288,97
	Gasóleo	748 165,64	88 446,09
	Gás Botija	0,00	0,00
TOTAL		2 885 661,32	382 305,78

Este consumo abrange todos os combustíveis, desde eletricidade, gasóleo ou gás natural consoante a caldeira e a iluminação (Gráfico 2). Assim, analisaram-se os equipamentos e verificou-se onde era possível melhorar, explorando mudanças do tipo de combustível e eventualmente do tipo de caldeira.

Nas escolas, esta energia é consumida pelo aquecimento, onde se encontram os radiadores que vão desde os 700 W até 1,7 kW, lâmpadas com potência de 36 W e 58 W e termoacumuladores para aquecimento de água sanitária (não foram abordados na simulação, pois não se estudaram formas de mudança).



**Gráfico 2- Tipos de combustível e o consumo no parque escolar**

### *1.3.3 Eficiência energética no setor escolar*

Atualmente, a eficiência energética assume uma importância crescente, tanto na indústria automóvel, nos materiais e nas escolas. O setor escolar enfrenta alguns problemas na procura por eficiência energética, nomeadamente as perdas caloríficas pelas paredes, um consumo excessivo de energia por parte dos radiadores, das lâmpadas fluorescentes e a inexistência de isolamentos, tanto nas paredes, como nos vãos envidraçados.

Algumas medidas usadas para combater estes problemas são: i) substituição das lâmpadas, por uma das de melhor eficiência, menos poluentes e que acima de tudo gastem menos energia (caso dos LEDs); ii) substituição de envidraçados simples por duplo e a caixilharia que promovam mais conforto térmico e menos perdas; iii) adição de painéis fotovoltaicos para autoconsumo, onde não é necessário comprar energia à rede, pois os painéis produzem a energia necessária para o efeito. Para além destas, existem outras medidas muito importantes, como a mudança dos radiadores por outros mais eficientes, a troca de combustível por outros com menor pegada ecológica, as medidas comportamentais (que englobam passos básicos, como desligar as luzes numa sala desocupada e fechar a porta para evitar desperdícios de calor).

Algumas instituições (Lisboa e.Nova – agência municipal de energia e ambiente, Câmara Municipal de Lisboa) lançaram desafios [12] para incentivar os alunos a mudarem os seus hábitos, oferecendo prémios para reforçar o esforço (Figura 10 e 11). O objetivo principal destas iniciativas é baixar o consumo de energia nas escolas, tendo os alunos de procurar métodos e medidas apropriadas para esse efeito. Como exemplo do sucesso destas iniciativas, salienta-se o facto de a Agência do Ambiente e Energia de Lisboa (que inicialmente lançou este desafio em 20 escolas básicas de Lisboa), ter alargado o universo do projeto para 21 escolas, de 4 Municípios diferentes [13].



Figura 10- Logótipo Escola + Eficiente, 2017



Figura 11- Logótipo Escola + Eficiente, 2016

### 1.4 Contributo deste trabalho de estágio

Através deste relatório conseguiu-se ter uma análise do desempenho energético do parque escolar do 1º ciclo no Município de Viseu, isto é, obtiveram-se os locais onde existe maior consumo tanto energético como financeiro. Com o apoio do software, *Designbuilder*®, analisaram-se os locais onde existiam perdas energéticas significativas. Para combater estas perdas, propõe-se um investimento de 636.993,1 € que abrange a implementação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo, o uso de *pellets* como fonte de energia nas caldeiras, a substituição dos vãos envidraçados e da iluminação, a introdução de revestimentos e os gastos associados à manutenção para o tempo de vida (25 anos).

Para se permitir uma economia de escala no processo de análise, agruparam-se as escolas por edifícios tipo, segundo vários fatores, nomeadamente o estilo, o número de pisos e de salas, cobertura, entre outros, tendo, no final, obtido 6 tipos de edifícios. Esses tipos abrangem 45 escolas do município sendo que as restantes escolas foram desprezadas, devido a já terem sofrido alterações ou a não encaixarem em nenhum dos tipos.

Com este método, conclui-se ainda que é possível extrapolar para o país inteiro, ou seja, através dos dados adquiridos para Viseu multiplicando por um fator de conversão, obtêm-se as poupanças para os diferentes tipos de clima.





## *2. Caracterização do parque escolar do 1º ciclo do Município de Viseu*

## 2.1 Sumário

Para este estudo, caracterizou-se o parque escolar dos centros escolares do Município de Viseu. Nesse sentido, integraram-se alguns dados, como o clima do Município, a forma como se modelaram as escolas e estratégias (horário de funcionamento), a existência de zonamentos, a atividade e taxas de ocupação e as soluções construtivas.

De seguida, caracterizou-se o parque segundo o consumo de energia, com o uso da iluminação, dos equipamentos e do sistema de aquecimento, atendendo às suas potências e utilizações. Para além destes consumos, salienta-se que o aquecimento da água sanitária é importante e essencial para o estudo, pois é um gasto acrescido de energia.

## 2.2 Clima

Neste subcapítulo apresentam-se e discutem-se os fatores do clima e os valores usados como padrão para este estudo.

Uma vez que todas as escolas são do Município de Viseu, o clima será semelhante entre elas, podendo variar a humidade, temperatura e elevação. Estas variáveis são contempladas através de uma *database* (retirada do *ASHRAE/IWEC*) do programa *Designbuilder*<sup>®</sup>, que agrega os dados necessários para uma simulação. Mas que para este trabalho foi necessário fazer uma *database* de raiz, por falta do local em análise (Viseu) no *Designbuilder*<sup>®</sup>.

Contudo, essa *database* é restrita ao distrito de Viseu, ou seja, as temperaturas e outros valores que foram usados correspondem a uma média ponderada dos vários Municípios do distrito de Viseu. Assim, apesar de os valores não serem os reais, são muito próximos dos mesmos e são adequados para efeitos de estudo. Os dados considerados para as simulações encontram-se representados na Figura 12, nomeadamente, em coordenadas (40° em latitude, -7° em longitude, 644 metros de elevação), meses frios (outubro a março) e meses quentes (abril a setembro). Devido a ter sido formada a *database*, não se conseguiu inserir a influência do vento, razão pela qual este fator não será considerado para estudo.

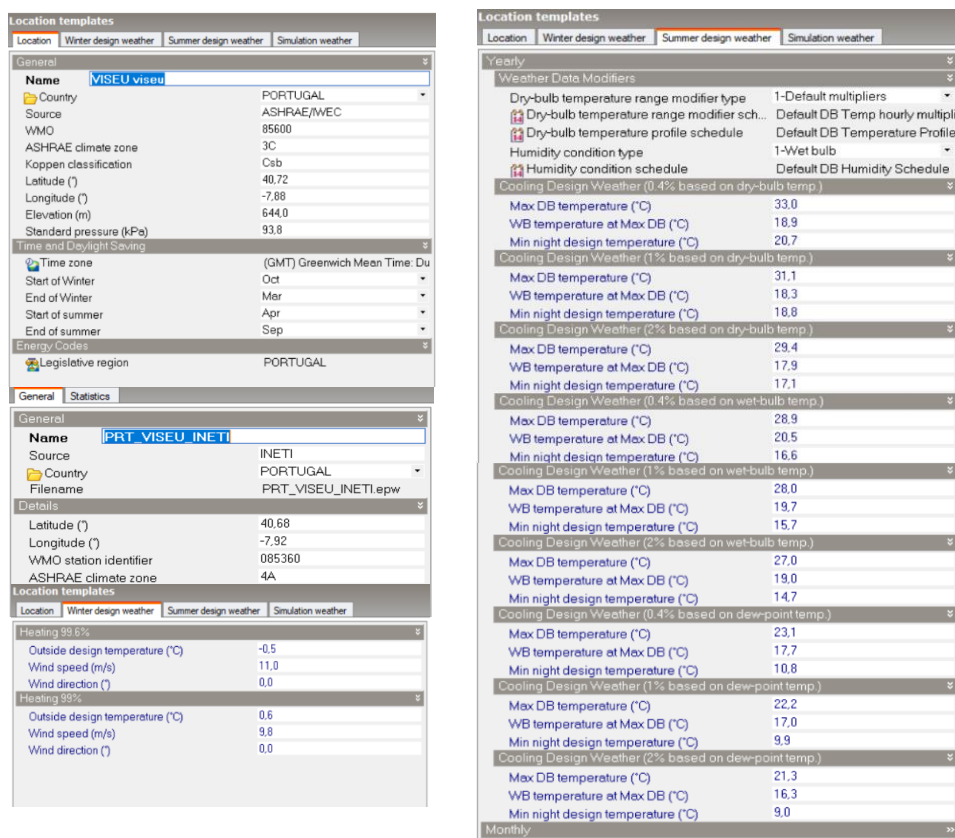


Figura 12- Parâmetros climáticos de Viseu no Designbuilder®- localização, temperatura de hora em hora e o design do tempo no Inverno (esquerda); o design do tempo no verão (direita)

## 2.3 Modelação

Para a modelação utilizou-se o programa *Designbuilder*® (software para simulação de edifícios) e plantas disponibilizadas pelo Município de Viseu. Nesta modelação consideraram-se fatores como o tipo de parede, a sua espessura, número de pisos, área de pavimento e volume. A Figura 13 ilustra uma modelação de um caso de estudo.

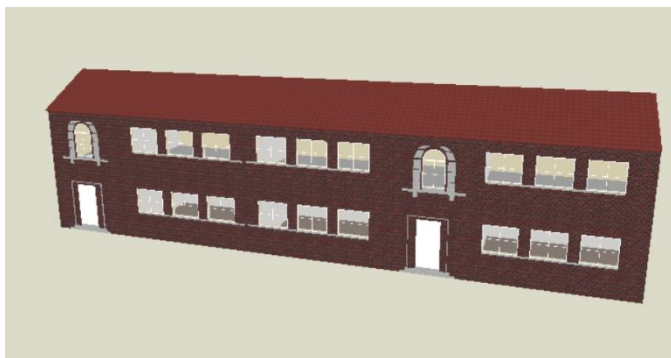


Figura 13- Exemplo da modelação de um caso de estudo no Designbuilder®

Como referido na secção 1.3.1, usou-se o *dialux*, em conjunto com o *LDT editor*, para saber a iluminação existente na sala e comparar com os níveis de iluminação requeridos por lei. A Figura 14 ilustra um exemplo da iluminação de uma sala de aula, na qual é possível observar as isométricas do lux.

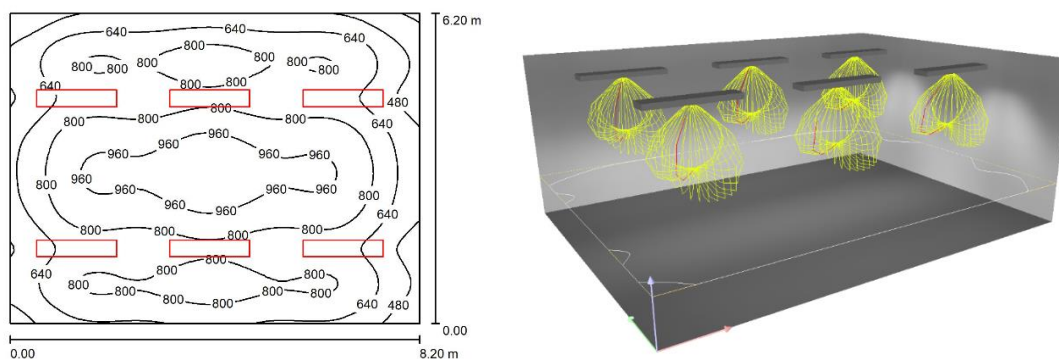


Figura 14- Simulação da densidade da iluminação numa sala de aulas em 2D (esquerda) e em 3D (direita), ambas no dialux

Através destes *softwares* vai se conseguir poder analisar todas as perdas energéticas tanto a nível da iluminação como dos equipamentos e aquecimento e desse modo ter conclusões. Inicialmente foi se analisar as perdas atuais e mais tarde com as melhorias implementadas para se poder fazer uma comparação e ver o retorno se compensaria face ao investimento. Sem eles, tudo seria mais difícil e demorado.

## **Perfis**

Um perfil é uma descrição rápida de um objeto, e como tal, a secção seguinte identifica todos os objetos encontrados, desde paredes, telhados, equipamentos e analisa quais os seus materiais, consoante as escolas.

### **Paredes**

O material utilizado para as paredes das escolas varia consoante o tipo e época que de construção das mesmas, podendo ser de pedra como betão.

O material escolhido foi um fator a ter em atenção para o agrupamento das escolas tipo, pois varia consoante o coeficiente de transferência térmico. Existe um reboco de espessura 2 cm (interior ou exterior) igual para ambas as paredes e o resto da parede ou é pedra ou betão. A título de exemplo, a Figura 17 ilustra o interior de uma sala com reboco e a Figura 16 ilustra o seu exterior com pedra. Se for em pedra, a parede tem 48 cm de espessura, mais 2 cm de reboco, perfazendo um total de 50 cm. Por outro lado, se for de betão, a mesma tem 28 cm de espessura e 2 cm de reboco, obtendo-se 30 cm de espessura total. A Figura 15 apresenta os *inputs* do programa, em que o retângulo azul ilustra o parâmetro exterior (pedra) e o retângulo verde ilustra o parâmetro interior (reboco), que podem variar consoante o caso de estudo.

<b>Alvenaria com reboco 0,02</b>	
Source	DesignBuilder
Category	Walls
Region	General
<b>Definition</b>	
Definition method	1-Layers
<b>Calculation Settings</b>	
Simulation solution algorithm	1-Default
Involves metal cladding	No
<b>Layers</b>	
Number of layers	2
<b>Outermost layer</b>	
Brickwork Outer	
Thickness (m)	0,48
Bridged?	No
<b>Innermost layer</b>	
Cement/plaster/mortar - cement blocks, cellular	
Thickness (m)	0,02
Bridged?	No
<b>Outside Surface</b>	
Fix convective heat transfer coefficient	No
<b>Inside Surface</b>	
Fix convective heat transfer coefficient	No
<b>Cross Section</b>	

Figura 15- Inputs do programa

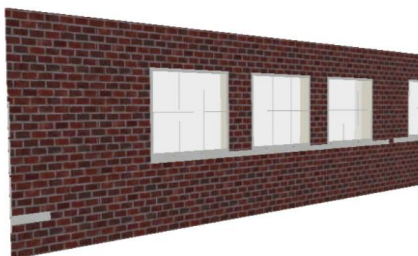


Figura 16- Exterior da sala, vista da alvenaria

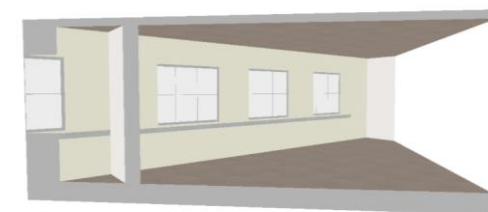


Figura 17- Interior da sala, vista do reboco

## Telhado

A constituição do telhado é composta por 4 camadas: i) telha (1 cm); ii) caixa de ar (4,5 cm); iii) feltro (3,5 cm) e iv) betão ou madeira (20 cm), consoante seja de estilo Raul Lino ou plano de centenários, respetivamente. As escolas podem ter telhados de geometria diferente, o que influencia os ganhos solares provenientes do sol, isto é, o grau de inclinação do telhado faz variar a incidência do sol no interior das escolas. Considerou-se que o ângulo

que o telhado com a sua base faz é de 30° para ambos os estilos, como se mostra na Figura 18.

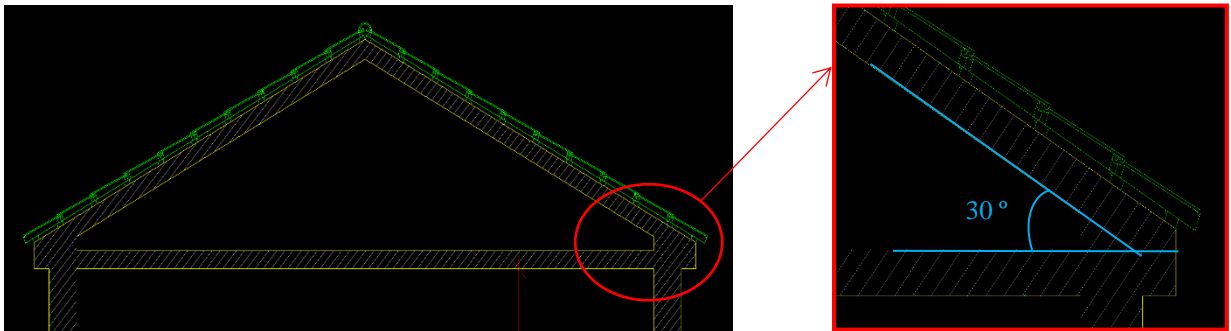


Figura 18- Desenho do telhado (Esquerda); Desenho ampliado do telhado - confirmação do ângulo 30°C (direita)

## Pavimento

Todo o pavimento das escolas é em madeira. Contudo, existe um tipo pavimento que está em contato com uma caixa de ar (espessura maior) e que por sua vez faz com que haja uma compensação das trocas de calor com o solo. Na Figura 19 e 20 estão representados os pavimentos do primeiro andar e do rés-de-chão de uma escola, respetivamente. É de salientar que a falta de pavimento da Figura 19, é devida ao zonamento, ou seja, as escadas são uma única zona (interligadas) e daí não haver pavimento.

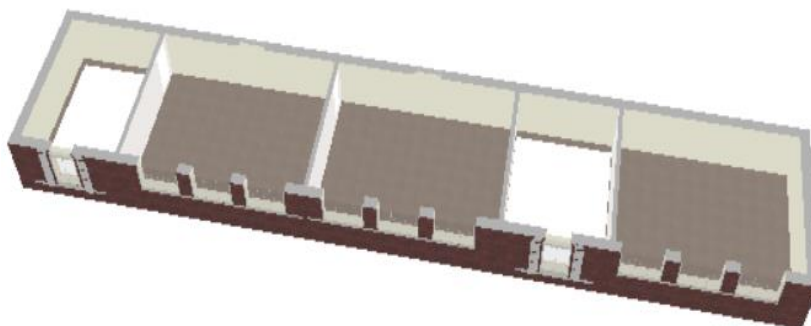
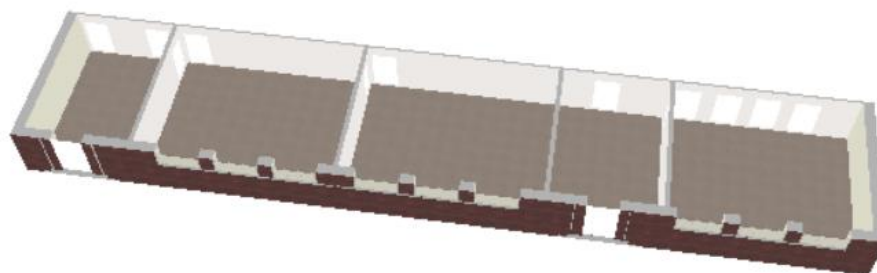


Figura 19- Ilustração em 3D do 1º andar de uma escola



*Figura 20- Ilustração em 3D do rés de chão de uma escola*

## Janelas

As janelas são compostas por alumínio e com tamanho variável, consoante o tipo de janela e local da mesma. Os vidros são simples com 4 mm de espessura (Figura 22), o que contribui para os ganhos solares e perdas de energia. No caso de estudo, os vidros têm uma transmissão térmica de  $5,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  [14]. Também se averiguou que as janelas são 30% da área total das paredes, o que também contribui para um maior consumo de energia do espaço [15].

As janelas têm sombreamento natural (árvores) e artificial (cortinas e estores). O sombreamento natural afeta os ganhos solares obtidos maioritariamente no Verão, pois, no Inverno, como as árvores são de folha caduca, ficam sem folhas e não fazem sombreamento. Nesse sentido, desprezou-se para efeitos de cálculo de ganhos solares tanto no verão como no inverno. O sombreamento artificial tem dois tipos: estores de tecido ou de alumínio, como se mostra na Figura 21.



*Figura 21- janela real de uma escola com estores em tecido*



Na modelação dos envidraçados teve-se ainda em conta o facto dos mesmos estarem divididos, isto é, cada envidraçado não é unicamente vidro, são vários vidros separados por barras de alumínio (Figura 23). Este aspeto pode ser desprezado uma vez que tanto os ganhos como as perdas são mínimos. Na Figura 25 observam-se vários tipos de janelas, consoante o setor.

Para efeitos de ventilação, considerou-se uma abertura máxima de 50% e uma mínima de 5%. Estas aberturas são executadas na vertical de baixo para cima. Através da Figura 26, observam-se o número de janelas e a sua forma, numa escola com 2 pisos e 6 salas de aula. Para se poder simular no *Designbuilder*® utilizaram-se os *inputs* estipulados na Figura 24.

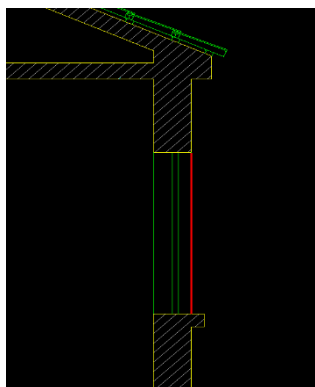


Figura 22- Vista lateral da janela

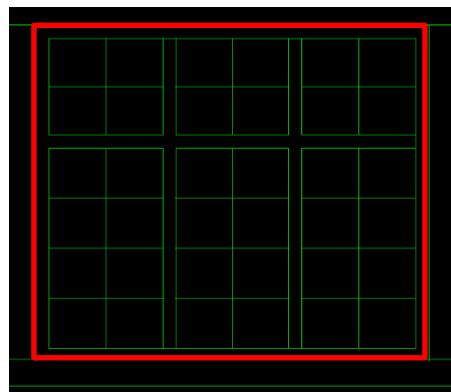


Figura 23- Vista frontal da janela da frente

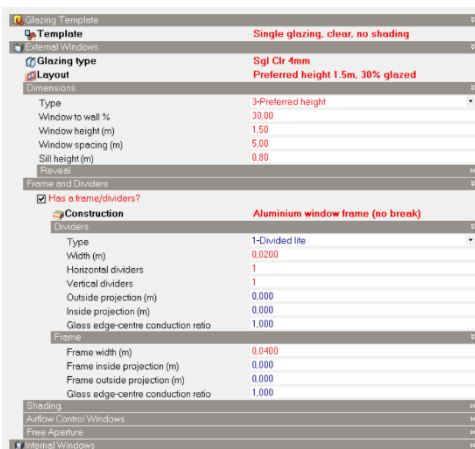


Figura 24- Inputs das janelas no Designbuilder®



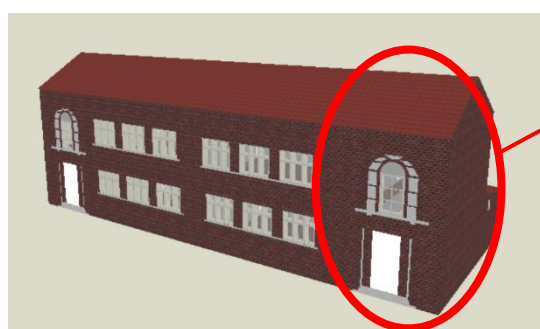
Figura 25- Vista frontal de vários tipos de janelas



*Figura 26- Vista frontal de uma escola*

## *2.4 Zonamento*

Nesta secção discute-se o agrupamento em zonas térmicas com as mesmas especificações, como as escadas entre pisos (Figura 27) e as casas de banho (Figura 28). Para se considerar o mesmo espaço, é necessário apresentarem os mesmos equipamentos (devido ao consumo), os mesmos materiais, a mesma utilização (devido à ocupação) e a mesma área (pois faz variar o consumo e a taxa de ocupação).



Escadas que são só uma zona, porque têm as mesmas características e estão ligadas.

*Figura 27- Escola em 3D com zonamento nas escadas*

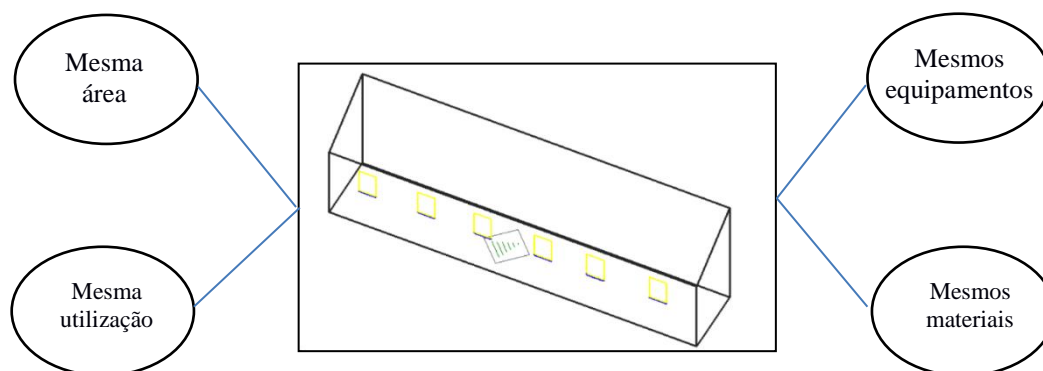


Figura 28- Desenho em 3D das casas de banho num só espaço

Ao terem estas características todas em comum, as casas de banho agrupam-se numa só e desse modo tem-se o consumo do espaço total.

As salas de aula não foram consideradas no zonamento, apesar de apresentarem uma construção idêntica, radiadores e iluminação iguais e os mesmos equipamentos, não possuem o mesmo número de alunos e a mesma área.

## 2.5 Taxas de ocupação

Para descrever as taxas de atividade e de ocupação, a análise foi baseada nos ficheiros que o departamento de educação disponibilizou com o número de alunos, turmas e consequente ocupação por sala e por escola. Para a simulação ser realista é necessário saber os dados dos horários de ocupação das crianças e do aquecimento.

De salientar que em relação à ocupação dos corredores e casas de banho considerou-se o valor predefinido pelo programa, que é 0,11 pessoas/m<sup>2</sup>. Na Figura 29 é possível observar alguns exemplos de taxas de ocupação. O horário de funcionamento dos mesmos é das 08h30 às 19h00, uma vez que as aulas começam às 09h00 e acabam às 16h30. No entanto, verificou-se ainda que os pais deixam as crianças mais cedo e vão buscá-las mais tarde, devido aos seus empregos, o que implica que as instalações escolares estejam abertas, para o caso de alguém necessitar de usufruir das mesmas (como corredores e casas de banho).

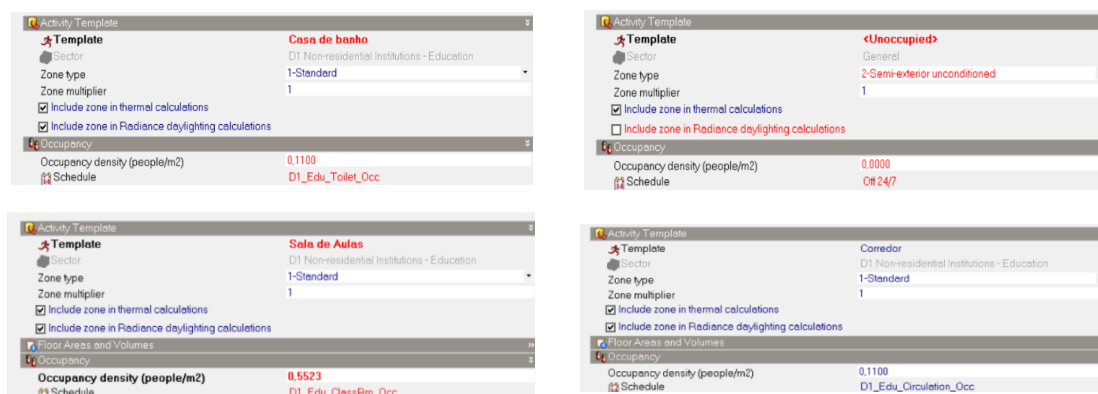


Figura 29- Taxas de ocupação das várias zonas, casa de banho (canto superior esquerdo); Sala de aulas (canto inferior esquerdo); Telhado (canto superior direito) e corredor (canto inferior direito)

A taxa de ocupação das escolas varia, pois existem freguesias da região com poucas crianças e com escolas de área significativa, enquanto noutras regiões se observa o oposto. Apenas as escolas cujas plantas foram fornecidas pelo Município de Viseu foram analisadas e estudadas ao longo desta dissertação. A taxa de ocupação nas salas foi calculada com base no número de alunos, de acordo com dados fornecidos pelo Município. Para a simulação, registaram-se os horários de funcionamento de cada espaço, estando as salas de aulas ocupadas das 09h00 às 12h00 e das 14h00 às 16h30, e desocupadas entre as 12h00 e as 14h00 (hora de almoço). As escadas e os corredores estão em funcionamento desde que a escola abre (08h30) até que fecha (19h00). Com as casas de banho acontece o mesmo, devido aos fatores supramencionados. Em relação aos gabinetes dos professores, estão ocupados quando estiver lá um professor/a, para atender os pais ou para trabalhar fora do seu tempo de aulas. De salientar que mais à frente será referido outro horário de funcionamento, relacionado com a iluminação. Na Tabela 4 apresenta-se um tipo de escola (CEB São Miguel), com o nº de alunos, turmas, área e a sua taxa de ocupação (exemplo):

Tabela 4- Nº de alunos, área das salas de aula e taxa de ocupação da CEB São Miguel

CEB São Miguel			
Turmas	Nº alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Taxa de Ocupação (pessoa/m <sup>2</sup> )
São Miguel 1A	25	46,46	0,54
São Miguel 23A	24	49,43	0,49
São Miguel 3A	22	49,64	0,40
São Miguel 43B	18	52,30	0,34
São Miguel 4A	19	52,52	0,36

Através da Tabela 4, observa-se o número de alunos por turmas, a área disponível para cada sala e, desse modo, foi possível calcular a taxa de ocupação, concluindo-se que esta varia proporcionalmente com o número de alunos e é inversamente proporcional à área. Portanto, quando o número de alunos aumenta, a taxa também aumenta.

## 2.6 Iluminação

A iluminação é um dos setores onde se pode melhorar com facilidade o nível de eficiência energética. Nas escolas são usados vários tipos de lâmpadas consoante o seu tipo, como se viu nas visitas efetuadas (Anexo I). São usadas lâmpadas T8 fluorescentes de 36 W (120 cm) ou 58 W (150 cm), em caixilhos únicos ou duplo, uma lâmpada ou duas, respetivamente.

Nas salas de aulas encontram-se caixilhos duplos no teto (Figura 30) e simples no quadro, que vão desde 4 caixilhos duplos mais 2 simples até 6 caixilhos duplos mais 2 simples, fazendo variar a potência, os lúmens e o consumo. Nos corredores a situação é equivalente à descrita acima, tendo caixilhos duplos ou simples. No refeitório é igual às salas de aulas, exceto as luminárias do quadro que não tem. Os gabinetes dos professores, arrumos e cozinha usam lâmpadas deste tipo. As casas de banho usam outro tipo de lâmpadas (halogénio, esféricas, 20 W), uma vez que os espaços são mais reduzidos e não necessitam de tanta potência.

Em termos de vida útil, as de 36 W e 58 W aguentam 15.000 h e as de 20 W duram 2.000 h. Para além desta característica tem-se a temperatura da cor, que indica se a lâmpada imite uma luz quente (luz amarela – 2.700 K), suave (branca – 4.000 K) ou fria (azulada – 6.500 K), neste caso as lâmpadas de 36 W e 58 W são suaves (código da cor 840), enquanto que as de 20 W são quentes. (Anexo II)

À partida a mudança logo à vista será a mudança das lâmpadas fluorescentes para LED, pois consomem e poluem menos.



Figura 30- Caixilho duplo com 2 lâmpadas de 58 W

O *Designbuilder*® necessita de dois *inputs* essenciais (Figura 31) para a simulação um deles é a densidade luminosa (medida em lux) em cada espaço. Esta é calculada através da divisão do número de lúmens (mede a quantidade de luz emitida pela lâmpada) pela área do espaço. Para se obter este valor usou-se o *dialux*, tendo em atenção fatores tais como a altura a que se encontra o plano de trabalho (80/120 cm), isto é, os alunos nas salas de aulas estão sentados, e os seus olhos ficam a aproximadamente a 80 cm, nos corredores como estão de pé já ronda os 120 cm (valor aproximando). O segundo *input* é a potência pela área do espaço, calculado com uma potência aplicada a uma taxa de eficiência de 93% (para ser um valor real) e os m<sup>2</sup>, obtidos pelas medidas das plantas.

Category	Parameter	Value
General Lighting	Normalised power density (W/m <sup>2</sup> -100 lux)	3.8000
	Schedule	D1_Edu_Circulation_Light
	Luminaire type	3-Recessed
	Return air fraction	0.000
	Radiant fraction	0.370
	Visible fraction	0.180
	Convective fraction	0.450
Lighting Control	On	<input checked="" type="checkbox"/>
	Off	<input type="checkbox"/>
Task and Display Lighting	On	<input type="checkbox"/>
	Off	<input type="checkbox"/>
Exterior Lighting	On	<input type="checkbox"/>
	Off	<input type="checkbox"/>
Environmental Control	Heating Setpoint Temperatures	
	Heating (°C)	18.0
	Heating set back (°C)	12.0
	Cooling Setpoint Temperatures	
	Cooling (°C)	23.0
	Cooling set back (°C)	28.0
Humidity Control	Ventilation Setpoint Temperatures	
	Minimum Fresh Air	
	Lighting	
Target Illuminance (lux)		604
Default display lighting density (W/m <sup>2</sup> )		8

Figura 31- Inputs da iluminação

## 2.7 Equipamentos

Entre muitos equipamentos que existem numa escola, é de salientar o caso do computador com uma potência de 300 W, o projetor com 200 W e a impressora com 45 W, pois são os que consomem mais energia. Os radiadores também gastam muita energia, pois têm uma potência que vai dos 0,7 kW aos 1,8 kW, consoante a escola, a necessidade e o local de instalação. Para reduzir esta potência analisou-se que potência era necessária para aquecer o espaço em questão e saber o horário de funcionamento, porque quando não existem alunos no espaço ou existe calor a mais, pode-se desligar os mesmos.

Por serem escolas antigas e sem atualizações, a maior parte ainda usa gasóleo como combustível, o que polui muito o ambiente, tem uma eficiência baixa e o seu preço de aquisição é elevado, portanto não compensa em nenhuma situação. Algumas escolas já apresentam gás natural e é uma das grandes alternativas, pois o gás é mais barato que o gasóleo e polui menos. Contudo, não existem em todas as freguesias. A alternativa mais barata seria *pellets* e lenha. *Pellets* são a alternativa mais barata ecologicamente sustentável

Os equipamentos mencionados acima encontram-se ligados em intervalos de tempo que, após análise, concluiu-se que podiam ser reduzidos caso a caso.

## Computadores

Cada sala contém um computador (Figura 32) com potência de 300 W, que funciona das 09h00 às 16h30 (período de aulas) durante 5 dias da semana. Um dos *inputs* é a potência sobre a área, que varia de divisão para divisão (Figura 33). À partida, uma melhoria já visível seria suspender o computador quando não é necessário, nomeadamente à hora do almoço, o que será discutido com mais cuidado em seções futuras.



*Figura 32- Computador usado nas salas*

Computers	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Power density (W/m <sup>2</sup> )	6.02
Schedule	D1_Edu_ClassRm_Equip
Radiant fraction	0.200

*Figura 33- Inputs do computador*

## Outros equipamentos

Como referido acima, outros equipamentos englobam, por exemplo, os projetores (Figura 35) que se encontram nas salas de aulas com 200 W cada um e uma impressora (Figura 34) de 45 W usada pelos professores no seu gabinete comum. Tal como mencionado para os computadores, o *input* (Figura 36) será na mesma, expresso em W/m<sup>2</sup>, calculado dividindo a potência pela área. Para além deste *input*, considerou-se que trabalhavam no mesmo horário da iluminação das salas de aulas, ou seja, das 09h00 às 13h00 e das 14h00 às 16h30.





Figura 35- Projetor usado nas salas de aula



Figura 34- Impressora usada nas salas de aula

Office Equipment	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Power density (W/m2)	4.01
Schedule	D1_Edu_ClassRm_Equip
Radiant fraction	0.200

Figura 36- Inputs de outros equipamentos

## Sistema de água sanitária

A água sanitária não tem aquecimento nas casas de banho, mas apresenta na cozinha, com termoacumuladores (Figura 37) usados exclusivamente para limpeza da loiça (1h de funcionamento) ou para preparação da comida, nas escolas com refeitório. Sobre esse aquecimento não se obtiveram dados e por isso manteve-se a referência do *Designbuilder*<sup>®</sup>,



Figura 37- termoacumulador usado nas escolas

## Ventilação

A ventilação é natural e ocorre ao nível da abertura das janelas, portas e de algumas fugas que possam existir conduzindo a perdas significativas de calor, calculadas virtualmente através do *Designbuilder*<sup>®</sup>.

Para efeitos de cálculo foram consideradas unicamente as infiltrações, que são uma forma de perda de energia, que mesmo reduzidas têm de ser contabilizadas. Para tal, o *Designbuilder*<sup>®</sup> tem um comando que executa esse procedimento e assim sabe-se qual a quantidade de energia desperdiçada. É possível nivelar o “isolamento”: *very poor*, *poor*, *medium*, *good* e *excellent*. Como as escolas possuem um simples reboco com 2 cm, considerou-se *poor*. Caso não demonstrasse nenhum reboco seria *very poor*, mas se o reboco aumentasse, para além dos 2 cm ou houvesse algum tipo de isolamento iria para os níveis *medium*, *good* e *excellent*.

No inverno, havendo ventilação simultaneamente com aquecimento, vai existir um maior consumo de energia, porque com a renovação do ar, o ar quente vai ser desperdiçado e ter de ser novamente aquecido. Mas com isto, contribui-se para uma melhoria da qualidade do ar e da saúde humana.

### 2.8 Consumo energético

As escolas consomem energia através dos equipamentos (escritório, computadores, impressoras), radiadores, caldeiras e iluminação, mas nem todos com o mesmo tipo de energia. O parque escolar é composto por 66 escolas, mas só 45 é que foram analisadas neste estágio, devido a muitas já terem medidas implementadas e outras por não se agruparem a nenhum caso de estudo. Cada escola apresenta um consumo próprio, variando com o uso, com a ocupação entre outros aspetos.

Os consumos do Parque Escolar Municipal em 2017 foram os seguintes:



Energia elétrica:  
1.100.000 kWh



Gás Natural:  
960.000 kWh



Gasóleo:  
740.000 kWh

## 2.9 Sistema de aquecimento

O sistema de aquecimento, neste caso de estudo, é o ponto mais importante para a eficiência energética, uma vez que é o que perde mais energia, normalmente com recursos não renováveis (gasóleo e gás natural). Após ir às escolas tipo, verificou-se que as salas de aulas continham alguns radiadores que variavam de potência dos 0,7 kW aos 1,8 kW. Os corredores também apresentam radiadores, bem como as entradas e escadas das escolas, o gabinete dos professores e alguns arrumos.

Cada barra que constitui o radiador vale 100 W e somando vai dar os valores entre 0,7 kW se tiver 7 e 1,8 kW se apresenta 18. Na Figura 39 ilustra-se um exemplo de um radiador com 16 barras, ou seja, 1,6 kW de potência. Nas escolas existem dois tipos de aquecimento, gasóleo ou gás natural. Muitas das escolas ainda têm gasóleo, mas o processo é mudar se possível para gás natural, caso haja um ramal nas proximidades ou então pensar em *pellets*. Os radiadores apresentam níveis que vão do 1 ao 5, onde 1 é a potência mais baixa e 5 potência mais elevada (total), as escolas adotaram um método que nem todas executam, mas que nos corredores usam o nível 3 e nas salas de aulas para o conforto dos alunos usa-se o nível 5. Devido a muitas escolas não terem muito isolamento usam todos os radiadores no nível 5, tanto seja no corredor como na sala de aula. Os *inputs* do sistema de aquecimento (Figura 38) são o tipo de combustível usado, gasóleo ou gás natural, a potência instalada em cada setor e a eficiência da caldeira. Em termos de eficiência considerou-se 85% para o gasóleo e 93% para o gás natural.

O consumo pode ser enquadrado num regime livre ou regulado. O regime livre é

variável, estando o valor em constante mudança conforme o mercado e as empresas, podendo escolher o mais económico. Já no regime regulado o valor é fixo pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos e desse modo não têm poder de escolha. As escolas estão todas com o regime regulado, portanto um aspeto a ponderar seria a mudança para o outro regime pois segundo estudos, compensa [16]. Melhorar o aquecimento depende de muitas outras adaptações, porque por exemplo se se isolassem as paredes, estas não perderiam tanto calor e assim não seria necessária mais potência e reduzir-se-ia o consumo.

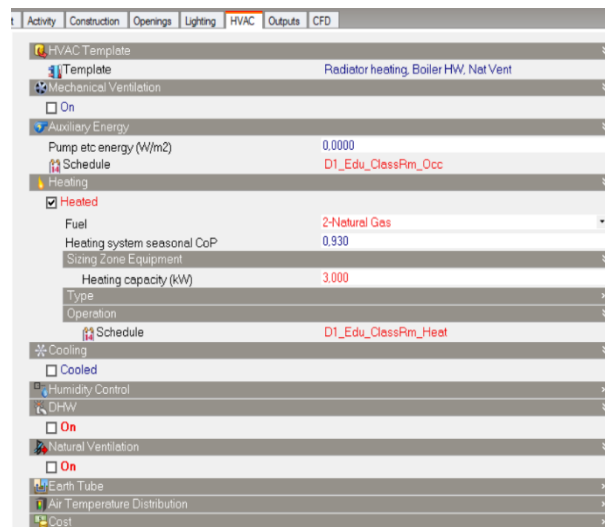


Figura 38- Inputs do sistema de aquecimento



Figura 39- Sistema de aquecimento com 1,6 kW

### *2.10 Estimativa da energia gasta para AQS*

Após análise no terreno, verificou-se que existia um gasto muito reduzido em AQS, simplesmente à hora de almoço para a limpeza da loiça (com um termoacumulador ou por uma máquina de lavar loiça). De notar que nas casas de banho não existe AQS, unicamente água fria.

### *2.11 Tempo de simulação*

Ao construir os edifícios com todos os detalhes no *Designbuilder*<sup>®</sup>, viu-se que o tamanho do ficheiro era muito grande e como consequência o tempo de simulação era igualmente elevado, provocando muitas vezes erros. Por isso, para reduzir ambos os aspetos (tamanho e tempo de simulação) simplificaram-se os edifícios, retirando pormenores e juntando zonas com o mesmo tipo de construção, atividade, ocupação e equipamentos. No primeiro caso, retiraram-se as pedras que fazem de ombreiras nas janelas que servem unicamente para estética. No segundo caso, juntaram-se todas as cabines de casa de banho numa só, as escadas também seguiram o mesmo procedimento, ficando os dois pisos ligados entre si.

### *2.12 Medidas de eficiência energética já implementadas*

O Município de Viseu estudou várias medidas para serem implementadas, nas escolas Rolando Oliveira, Arnaldo Malho, JI/EB Viso, 1º CEB de Jogueiros, CE Aquilino Ribeiro, 1º Ceb de Abraveses e 1º CEB de Massorim, estando estas duas últimas ainda em fase de execução.

As medidas já executadas são:

- Eliminação dos consumos de Energia Reativa;
- Substituição por iluminação LED
- Substituição por queimadores a gás natural;
- Regulação da temperatura das caldeiras;
- Desligar iluminação desnecessária e substituição de lâmpadas e projetores por LED.

As medidas já planeadas, mas ainda à espera para serem executadas são:

- Instalação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo;
- Limitação/Regulação da climatização;
- Isolamentos, nomeadamente, térmico nas fachadas e nas coberturas;
- Substituição de envidraçados;
- Introdução de palas de sombreamento;
- Ações de controlo/gestão de aquecimento;
- Substituição de queimadores (climatização);
- Sistema de regulação de fluxo luminoso.

Segundo, os resultados das medidas executadas anteriormente, notou-se uma grande melhoria da eficiência na escola e por conseguinte será uma abordagem para as outras escolas. Um caso prático é a substituição por iluminação LED, que permitiu poupar mais de 50% em eletricidade anual e com isso, poupar dinheiro e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

### *2.13 Conclusão do capítulo 2*

Com base nestes dados, criou-se uma base de dados com todos estes indicadores para todas as escolas e caracterizou-se o parque escolar de uma forma completa. De seguida, estudaram-se quais as medidas de eficiência aplicadas nas escolas e os seus resultados. Averiguou-se que existem muitas planeadas, mas ainda não executadas e seria bom para se ver, onde se pode ainda melhorar.





### *3. Metodologia de análise*

### *3.1 Sumário*

O método adotado priorizou a poupança do tempo de simulação, tendo por isso agregado as escolas em 6 tipos de edifícios, através de alguns critérios, nomeadamente estilo, número de pisos e salas.

### *3.2 Caraterização do parque edificado*

De um modo geral, o parque escolar é composto por escolas de vários estilos de construção, nomeadamente, plano de centenários, estilo raul lino, urbano, centenários rural, indefinido e edifícios novos. Para além do estilo, variam consoante o número de pisos e de salas, existindo desse modo, escolas com 2 pisos e com 6 salas, 4 salas ou 3 salas ou com 1 piso com 2 salas. Quanto maior o número de salas, maior o número de turmas. O número de envidraçados varia com o número de salas, em que cada sala contém 3 janelas. De referir que todas as janelas têm caixilho em alumínio e vidro simples. Na construção é possível destacar dois tipos: um que basicamente é composto por madeira (estrutura, pavimento e telhado) e outro que é constituído maioritariamente por betão.

### *3.3 Critérios de agregação em edifícios tipo*

Ao analisar toda a informação acerca das escolas e encontrando padrões entre elas, chegou-se à conclusão que bastavam 6 tipos de escolas para analisar e assim reduzir tempo de simulação. Esses 6 edifícios tipo foram estabelecidos nas seguintes caraterísticas:

- **Estilo;**

O estilo foi uma das caraterísticas chave, devido à sua data de criação. Por exemplo, o estilo Plano de Centenários foi criado há mais tempo e por isso os materiais usados são diferentes do Raul Lino. Mas existem alguns estilos que usam os mesmos materiais e, portanto, foram agregados nesta seleção.

- **Número de pisos;**

Devido ao aumento de um piso, a área aumenta e por sua vez as características térmicas e construtivas são diferentes. Neste setor foram criados dois grupos, dividindo as escolas que tinham apenas um piso das com dois pisos.

- **Número de salas;**

Talvez a característica essencial, uma vez que é onde se encontram os radiadores de aquecimento, que gastam a maior parte da energia nos edifícios escolares. Efetuou-se, portanto, a divisão em 2 salas, 3 salas, 4 salas e 6 salas.

- **Pavimento;**

O pavimento é um fator em que com o decorrer dos avanços tecnológicos, os materiais utilizados para pavimentos têm vindo a ser adaptados no sentido de minimizarem as perdas energéticas e maximizarem o conforto e utilidade dos mesmos para a comunidade escolar. O pavimento é característico do tipo de estilo, e variam nos seus constituintes e nos fatores térmicos.

- **Estrutura;**

A estrutura é a base de todos os edifícios, sobretudo porque as paredes são elementos de suporte nos edifícios de alvenaria de pedra. Existem dois tipos de paredes, as construídas com pedra e as com betão. Mais uma vez o fator do tipo de estilo é aqui inserido, porque cada estilo tem um tipo de parede, podendo, no entanto, serem semelhantes.

- **Cobertura;**

A cobertura muitas vezes denominada por telhado, é outro fator que depende do estilo da escola. Têm-se então dois tipos de telhados, com estrutura de suporte em madeira e outro por betão.

- **Número dos envidraçados;**

O número de envidraçados é essencial, pois vai trazer ganhos e perdas energéticos significativos. Quanto maior o número de envidraçados maior a exposição solar, que por consequente irá receber mais ganhos solares (energia) e ao mesmo tempo, ter mais perdas.

- **Taxa de ocupação;**

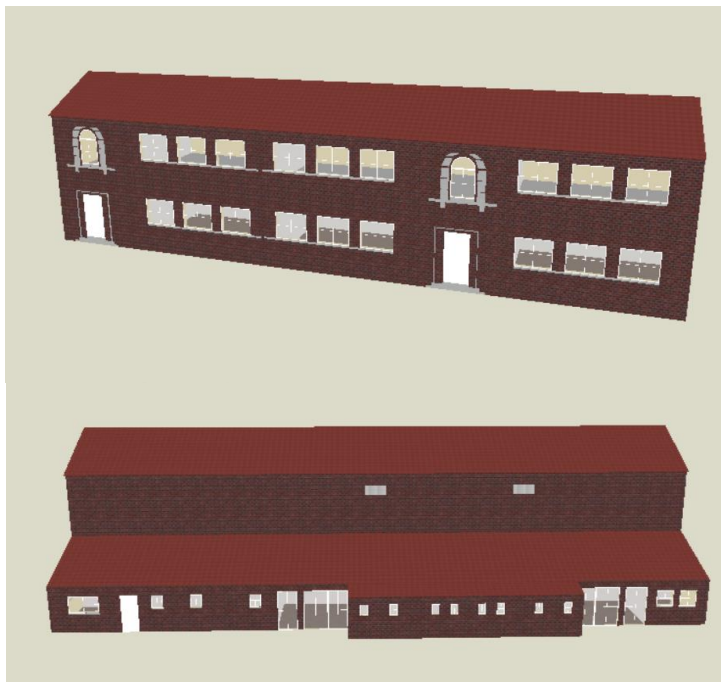
A taxa de ocupação está diretamente relacionada com o número de alunos, de salas e com a área. A manutenção do número de alunos permite aumentar a taxa de ocupação. Por outro lado, se se aumentar a área, essa mesma taxa diminui. Portanto foi essencial assumir uma para cada sala de cada caso de estudo.

- **Orientação.**

A orientação influencia os ganhos e as perdas energéticas devido aos ganhos solares pelos envidraçados frontais. Este fator só considerado na implementação de todas as melhorias.

### *3.4 Definição de edifícios tipo*

Tendo a base de dados do parque escolar com todas características referidas, obtiveram-se os 6 edifícios tipo, reduzindo desse modo o tempo de simulação. As Figuras que se seguem (Figuras 40-45) representam os 6 casos de estudo com as suas características:



## Caso de estudo 1 – CE1

- Plano de Centenários e Centenários Rural
- 2 pisos
- 6 salas
- Pavimento: vigamento de madeira
- Estrutura: paredes resistentes de alvenaria 50 cm (48 alvenaria e 2 reboco)
- Cobertura: telhado em madeira
- Vidro com 4mm
- Energia: eletricidade e gás natural

Gasóleo	Gás Natural
0	4

➤ 4 escolas

Caso de estudo 1			
Turmas	Nº alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Taxa de Ocupação (pessoa/m <sup>2</sup> )
Turma 1A	25	46,46	0,54
Turma 23A	24	49,43	0,49
Turma 3A	22	49,64	0,44
Turma 43B	18	52,30	0,34
Turma 4A	19	52,52	0,36

### Orientações das escolas:

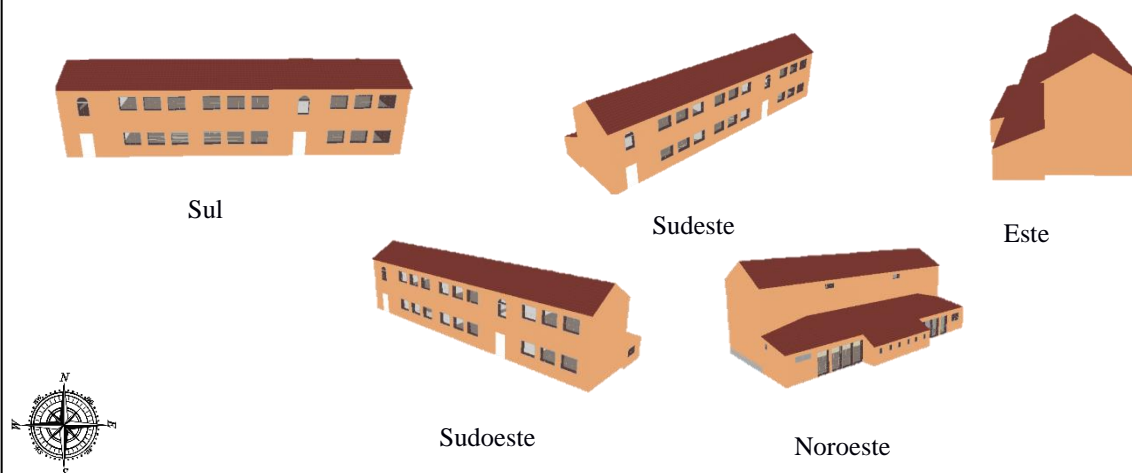


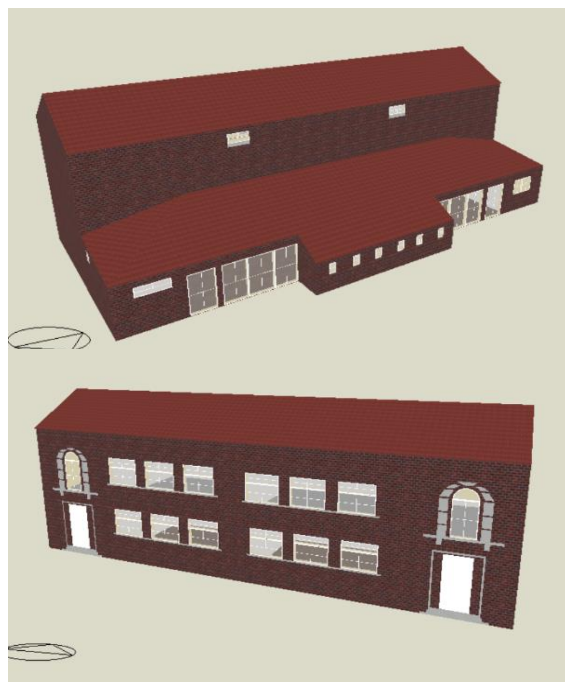
Figura 40- Características do Caso de Estudo 1

## Caso de estudo 2 – CE2

- Plano de Centenários e Centenários Rural
- 2 pisos
- 4 salas
- Pavimento: vigamento de madeira
- Estrutura: paredes resistentes de alvenaria 50 cm (48 alvenaria e 2 reboco)
- Cobertura: telhado em madeira
- Vidro com 4mm
- Energia: eletricidade e gás natural ou gásóleo

Gasóleo	Gás Natural
12	2

➤ 14 escolas



Caso de estudo 2			
Turmas	Nº alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Taxa de Ocupação (pessoa/m <sup>2</sup> )
Turma 1	15	52,05	0,29
Turma 2	17	55,78	0,30
Turma 3	17	53,46	0,32
Turma 4	15	49,89	0,30

### Orientações das escolas:



Sul



Sudeste



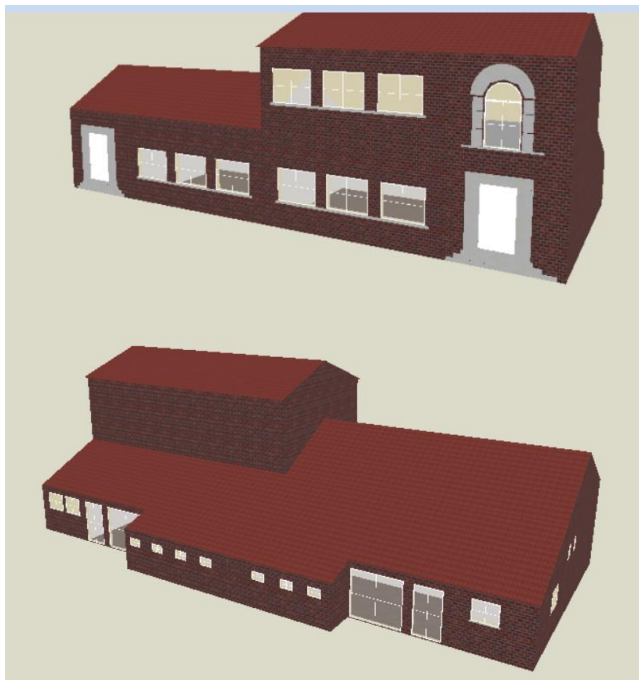
Este



Sudoeste



Figura 41- Características do Caso de Estudo 2



### Caso de estudo 3 – CE3

- Plano de Centenários
- 2 pisos
- 3 salas
- Pavimento: vigamento de madeira
- Estrutura: paredes resistentes de alvenaria 50 cm (48 alvenaria e 2 reboco)
- Cobertura: telhado em madeira
- Vidro com 4mm
- Energia: eletricidade e gásóleo

Gasóleo	Gás Natural
6	0

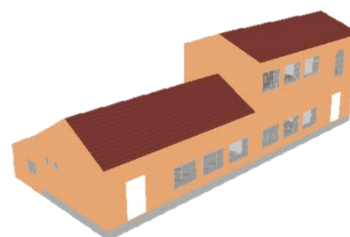
➤ 6 escolas

Caso de estudo 3			
Turmas	Nº alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Taxa de Ocupação (pessoa/m <sup>2</sup> )
Turma 13	18	58,21	0,31
Turma 2	13	54,28	0,24
Turma 34	15	50,51	0,30

#### Orientações das escolas:



Sul



Sudeste

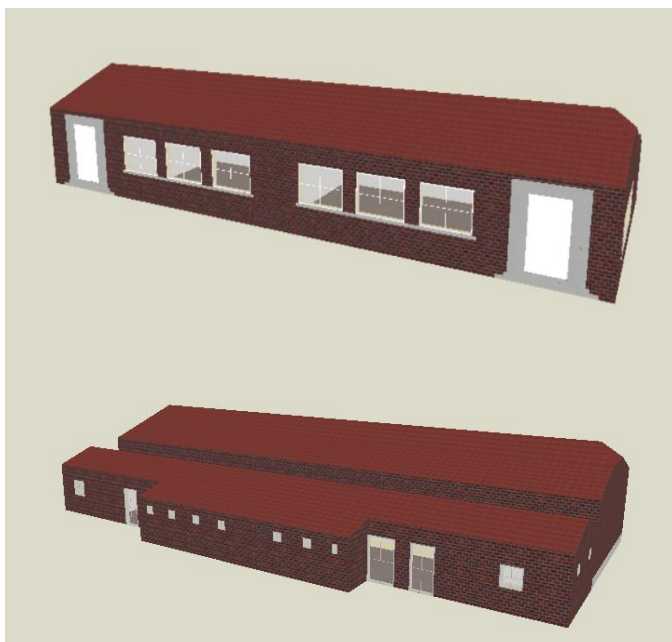


Figura 42- Características do Caso de Estudo 3

## Caso de estudo 4 – CE4

- Plano de Centenários e Centenários Rural
- 1 piso
- 2 salas
- Pavimento: vigamento de madeira
- Estrutura: paredes resistentes de alvenaria 50 cm (48 alvenaria e 2 reboco)
- Cobertura: telhado em madeira
- Vidro com 4mm
- Energia: eletricidade e gásóleo ou gás natural

Gasóleo	Gás Natural
9	2



### ➤ 11 escolas

Caso de estudo 4			
Turmas	Nº alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Taxa de Ocupação (pessoa/m <sup>2</sup> )
Turma 12	12	52,09	0,23
Turma 34	14	56,08	0,25

### Orientações das escolas:

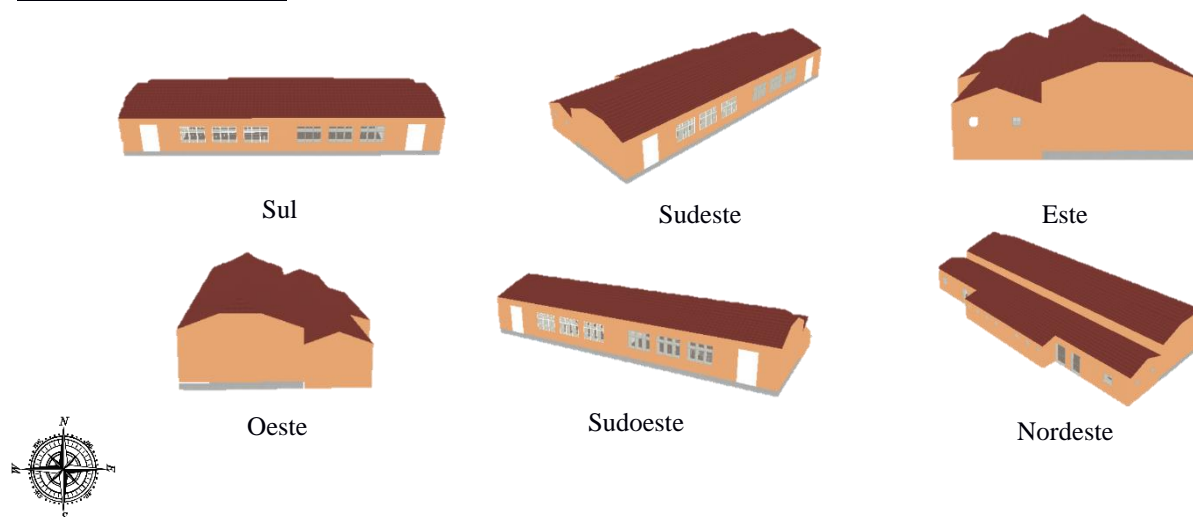


Figura 43- Características do Caso de Estudo 4



## Caso de estudo 5 – CE5



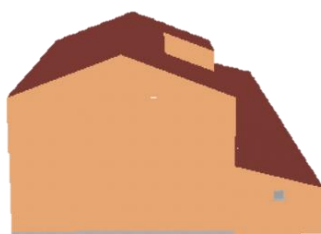
- Raul Lino e Indefinido
- 2 pisos
- 4 salas
- Pavimento: vigamento de madeira
- Estrutura: paredes resistentes de betão armado 30 cm (28 betão e 2 reboco)
- Cobertura: telhado em betão
- Vidro com 4mm
- Energia: eletricidade e gasóleo

Gasóleo	Gás Natural
4	0

➤ 4 escolas

Caso de estudo 5			
Turmas	Nº alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Taxa de Ocupação (pessoa/m <sup>2</sup> )
Turma 12	22	69,24	0,32
Turma 3	13	69,91	0,19
Turma 4	10	63,39	0,16

### Orientações das escolas:



Oeste



Este

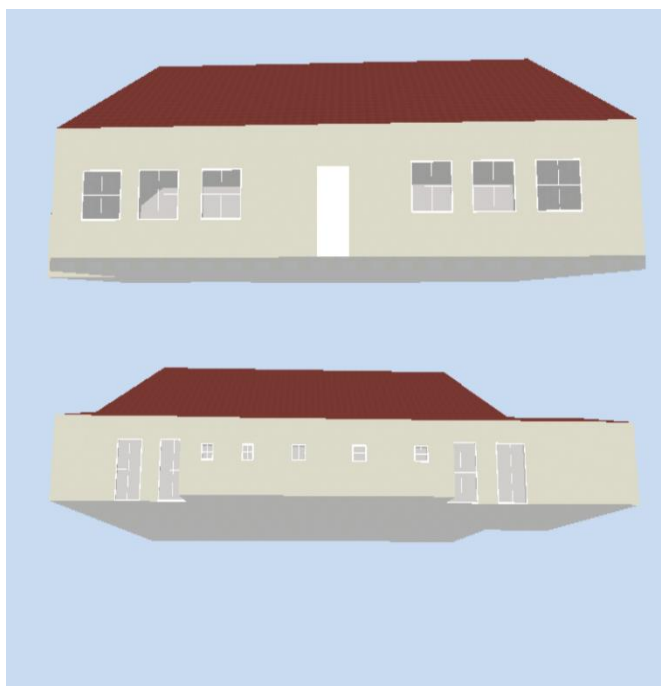
Figura 44- Caraterísticas do Caso de Estudo 5

## Caso de estudo 6 – CE6

- Raul Lino e Indefinido
- 1 piso
- 2 salas
- Pavimento: vigamento de madeira
- Estrutura: paredes resistentes de betão armado 30 cm (28 betão e 2 reboco)
- Cobertura: telhado em betão
- Vidro com 4mm
- Energia: eletricidade e gásóleo ou gás natural

Gasóleo	Gás Natural
3	3

### ➤ 6 escolas



Caso de estudo 6			
Turmas	Nº alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Taxa de Ocupação (pessoa/m <sup>2</sup> )
Turma 14	18	76,69	0,23
Turma 23	20	77,65	0,26

### Orientações das escolas:

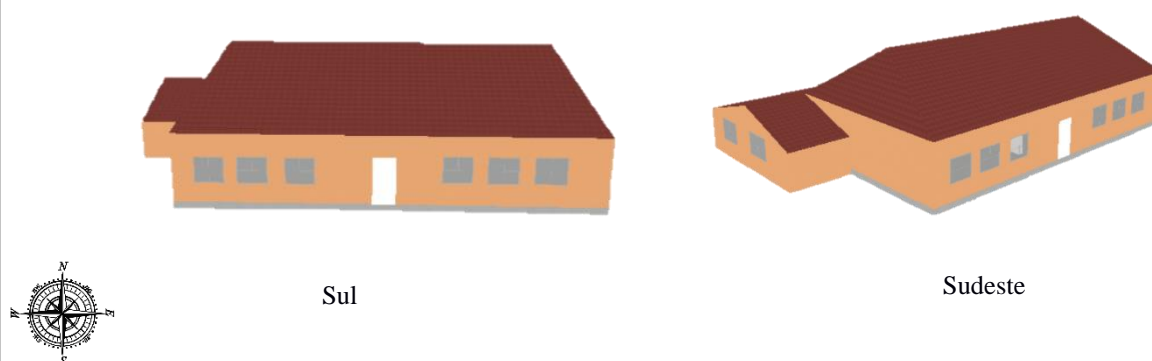


Figura 45- Caraterísticas do Caso de Estudo 6

De salientar que depois de encontrar os padrões para algumas escolas, houve algumas que não se encaixavam e por isso teriam de ser analisadas à parte. Além disso, salienta-se que muitas dessas escolas já tiveram intervenção num passado não-distante, onde já foram implementadas medidas de eficiência energética. O segundo ponto a salientar é que não foi possível obter a planta do último tipo de escolas (CE6), mas no terreno (levantamento arquitetónico) foram analisadas muitas semelhanças com o CE5, só que com menos um piso e por sua vez menos duas salas. Assim, o desenho do CE6 foi possível fazendo uma redução do CE5.

### 3.5 *Conclusão do capítulo 3*

Este capítulo descreve pormenorizadamente os passos necessários para abranger o universo de estudo deste estágio com tempos de simulação aceitáveis. Através da divisão de acordo com as categorias descritas no presente capítulo, foi possível restringir as 68 escolas para 45 escolas e essas 45 foram descritas apenas por 6 tipos. No fim de tudo fez-se uma comparação aos dois estilos mais predominantes do Município de Viseu, para tirar conclusões sobre os materiais e as suas influências.



#### *4. Medidas de reabilitação energética*

#### *4.1 Sumário*

Existem vários tipos de medidas para a eficiência energética, como as medidas comportamentais que dependem, como o próprio nome indica, dos comportamentos das pessoas. Além disso, existem medidas materiais, que visam acrescentar ou melhorar algum produto ou objeto, acrescentar isolamento, substituição de sistemas de iluminação por outras LED, e geralmente requerem um maior investimento inicial [17].

#### *4.2 Critérios de hierarquização de medidas de eficiência energética*

Como já referido anteriormente, criaram-se critérios de hierarquização de medidas para melhorar os edifícios tipo, pegando muito nos critérios já usados noutros estudos em escolas e noutros edifícios. Com isso concluiu-se que existiam grandes perdas em algumas zonas, como as paredes, pavimento e cobertura.

Os critérios que se escolheram foram:

- Energias renováveis;
- Tecnologias mais recentes e mais eficientes (modernização);
- Formas de baixar o consumo;
- Analisar a saúde humana, níveis de CO<sub>2</sub> do ar.
- Perdas energéticas acima do 1 kW, necessitavam de uma análise mais detalhada, como as paredes, telhados, sistema de aquecimento, iluminação, infiltrações entre outras;

Todas as alterações e melhorias foram elaboradas atendendo ao estado atual das escolas. Para se ver a longevidade do estudo como um todo, será feita posteriormente uma comparação final entre o estado atual e o estado após a implementação de todas as melhorias.

Ao longo deste capítulo serão analisados vários valores, desde investimentos a poupanças energéticas, financeiras e ambientais, como tal segue a seguir o método de cálculo, tendo-se, através do *Designbuilder*® obtido os consumos anuais de cada caso.

Para aspetos financeiros, considerou-se os seguintes preços por kWh (Tabela 5):

*Tabela 5- Preço de kWh por tipo de combustível*

	Tipo de combustível			
	Eletricidade*	Gasóleo**	Gás Natural ***	Pellets**
<b>Preço (€/kWh)</b>	0,161	0,134	0,054	0,053

\*preço da eletricidade [18]

\*\*preço do gás natural [19]

\*\*\*preço do gasóleo e das *pellets* [20]

O investimento será considerado para o conjunto das escolas do caso de estudo, ou seja, o investimento descrito na tabela representa o total para o parque escolar de Viseu.

A poupança energética uma vez que não se pode comparar kWh de diferentes tipos de energia, foi convertida em tonelada equivalente de petróleo, tep, (unidade de comparação): se for eletricidade multiplica-se por um fator de conversão 0,000215 tep/kWh e se for gás natural ou gasóleo multiplica-se por 0,000086 tep/kWh. Sendo que a poupança será calculada entre o rácio do consumo melhorado e o consumo atual.

A poupança financeira foi calculada através da multiplicação do número de kWh pelo preço de aquisição da energia, através da Tabela 5.

A poupança ambiental foi calculada através do consumo em kWh bastou multiplicar-se por um fator consoante a energia (eletricidade, gasóleo ou gás natural), dando origem a toneladas de CO<sub>2</sub>.

Já no final, tendo os valores totais do parque escolar, multiplicou-se por 25 (tempo de vida) e assim obtiveram-se as poupanças para o tempo do projeto.

### 4.3 Alteração da temperatura do set point da caldeira

As caldeiras apresentam uma temperatura de *set point*, isto é, a caldeira terá de aquecer até atingir essa temperatura que será a ideal para estas escolas. Após uma revisão e com as melhorias que vão ser implementadas, não será preciso tanto calor/energia e assim será possível reduzir a temperatura para o mesmo efeito. A temperatura de *set point* atual é de 60°C em todas as caldeiras das escolas, a qual poderá ser ajustada consoante a fase do ano (Inverno ou Verão). Ou seja, para o Verão a temperatura pode ser reduzida, por exemplo para 45°C e no Inverno ter-se-ia 55°C. Com esta mudança, cada grau equivaleria a uma redução de 2% no consumo [21]. Devido a termos unicamente aquecimento no Inverno, só se analisou a redução dos 60°C para os 55°C, mantendo-se essa temperatura para todo o ano. Em termos de aquecimento é possível fazer a diminuição, mas não se estudou o facto de poder haver doenças com esta mudança.

Através da Tabela 6, concluiu-se que ao reduzir para 55°C, consegue-se poupar aproximadamente 1,63 tep/ano (nas 45 escolas), correspondente a 12.792 €/ano e 4,71 ton de CO<sub>2</sub>. De realçar que esta iniciativa não tem investimento inicial, unicamente poupança.

Tabela 6- Poupança da mudança da temperatura de set point

Caso de estudo	Consumo (kWh/ano)		Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
	60°C	55°C						
			escola			tipo		
CE1	13469,52	12122,57	0,03	22,56	0,07	0,12	90,25	0,27
CE2	120542,52	108488,27	0,08	645,15	0,23	1,08	9032,08	3,17
CE3	11005,80	9905,22	0,02	158,30	0,05	0,10	949,80	0,29
CE4	23549,46	21194,51	0,02	153,77	0,06	0,21	1691,49	0,62
CE5	9884,72	8896,25	0,02	213,26	0,06	0,09	853,05	0,26
CE6	3786,00	3407,40	0,01	29,34	0,02	0,03	176,05	0,10
TOTAL	182238,02	164014,22	0,17	1222,39	0,48	1,63	12792,72	4,71



#### 4.4 Ventilação vs Saúde

Calculou-se o valor mínimo de caudal de ar novo por espaço, em função da ocupação, das características da própria escola e dos sistemas de climatização através das seguintes fórmulas matemáticas.

$$Q_{AN} = \frac{G}{C_{int} - C_{ext}}$$

$$G = \text{taxa de geração de } CO_2 \left( \frac{mg}{h} \right) = (1700 \times A_{DU} \times M) \times N$$

$$C_{int} = \text{limiar de proteção para a concentração de } CO_2 \text{ no ar interior } \left( \frac{mg}{m^3} \right)$$

$$C_{int} = 2250 \frac{mg}{m^3}$$

$$C_{ext} = \text{valor médio típico da concentração no ar exterior do } CO_2 \text{ para a zona onde se insere o edifício } \left( \frac{mg}{m^3} \right)$$

$$C_{ext} = 702 \frac{mg}{m^3}, P_{atm} = 390 \text{ ppm e } T = 25^\circ C$$

$$Q_{AN} = \text{Quantidade de ar novo } \frac{m^3}{h}$$

$$A_{DU} = 0,8 \text{ m}^2 \text{ Idade dos ocupa. até aos 6 anos}$$

$$A_{DU} = 1,8 \text{ m}^2 \text{ Idade dos ocupa. adultos}$$

$$M = 1,14 \text{ met actividade metabólica (criança)}$$

$$M = 1 \text{ met actividade metabólica (adulto)}$$

$$N = \text{número de pessoas}$$

**Por exemplo, numa sala de aula com 25 alunos e um professor:**

$$Q_{AN(crianças)} = \frac{(1700 \times 0,8 \times 1,14) \times N}{2250 - 702} = 10,02 N \frac{m^3}{h} \xRightarrow{N=25} Q_{AN} = 250,5 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{AN(professor)} = \frac{(1700 \times 1,8 \times 1) \times N}{2250 - 702} = 19,97 N \frac{m^3}{h} \xRightarrow{N=1} Q_{AN} = 19,97 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{AN(TOTAL)} = \frac{Q_{AN(crianças)} + Q_{AN(professor)}}{crianças + professor} = \frac{250,5 + 19,97}{25 + 1} = 10,40 \text{ m}^3/\text{h}$$

Com este exemplo consegue-se determinar que é necessário um número mínimo de renovações por hora, o que atualmente não acontece, porque não existe renovações de ventilação.

Com as renovações de ar, existe melhor qualidade de ar para as pessoas e como resultado mais saúde humana e, no verão, é possível reduzir a utilização de ar condicionado.

Através da Tabela 8, conclui-se que não existe nenhuma ventilação atualmente, só mesmo as infiltrações, que não serão consideradas nesta análise. Apesar de não ter a ventilação recomendada na simulação (desvantagem do programa), considerou-se que existe ventilação natural, mas que seria automática, ou seja, as janelas abriam, caso fosse preciso, e com isto os resultados mostram melhorias a nível da ventilação. Como tal, verificou-se que com a ventilação, existe um aumento do consumo e consequentemente um aumento na fatura. O gasto financeiro e energético extra que terá o Município será de cerca de 680 €/ano (no parque escolar), um gasto de energia de  $566,66 \times 10^{-3}$  tep e polui-se o ambiente com cerca de 2.200 kg de CO<sub>2</sub>, como se pode ver na Tabela 9 Após 25 anos, o Município com a implementação desta medida terá tido um gasto de 17.000 €, 14 tep e 57 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 10).

Tabela 7- Ventilação atual e a recomendada

Caso de estudo	Divisões	Nº pessoas	Área (m <sup>2</sup> )	Pessoa/área (pessoa/m <sup>2</sup> )	Ventilação existente (h <sup>-1</sup> )	Qar novo (m <sup>3</sup> /h)	Volume (m <sup>3</sup> )	Ventilação recomendada (h <sup>-1</sup> )
CE1	SA0.1	25	44,27	0,56	0	10,39	142,09	13,67
	SA0.2	24	48,12	0,50	0	10,41	153,22	14,72
	SA0.3	22	47,91	0,46	0	10,44	152,58	14,62
	SA1.1	28	51,91	0,54	0	10,35	198,44	19,17
	SA1.2	19	52,13	0,36	0	10,50	199,28	18,97
CE2	SA0.1	14	51,56	0,27	0	10,67	142,71	13,38
	SA0.2	18	55,26	0,33	0	10,53	152,94	14,53
	SA1.1	17	52,54	0,32	0	10,56	209,88	19,88
	SA1.2	15	49,03	0,31	0	10,63	195,85	18,43
CE3	SA0.1	13	57,69	0,23	0	10,71	219,46	20,49
	SA0.2	15	53,80	0,28	0	10,63	204,64	19,26
	SA1.1	18	49,29	0,37	0	10,53	167,70	15,93
CE4	SA0.1	12	51,45	0,23	0	10,77	160,21	14,88
	SA0.2	14	55,38	0,25	0	10,67	172,46	16,17
CE5	SA0.1	13	68,63	0,19	0	10,71	220,53	20,59
	SA0.2	10	68,85	0,15	0	10,90	222,68	20,43
	SA1.1	12	61,84	0,19	0	10,77	197,13	18,31
	SA1.2	10	60,61	0,16	0	10,90	193,20	17,72
CE6	SA0.1	18	75,82	0,24	0	10,53	237,96	22,60
	SA0.2	20	76,58	0,26	0	10,48	240,95	22,99
TOTAL		337	1132,67	6,20	0	212,05	3783,91	356,74

Tabela 8- Gastos energéticos com o melhoramento da ventilação

Caso de estudo	Consumo atual/escola (kWh)	Consumo melhorado/escola (kWh)	Gasto energético (tep) x 10 <sup>-3</sup>	Gasto financeiro (€)	Gasto ambiental (kg CO <sub>2</sub> )	Gasto energético (tep) x 10 <sup>-3</sup>	Gasto financeiro (€)	Gasto ambiental (kg CO <sub>2</sub> )
			escola			tipo		
CE1	3367,38	3375,44	0,72	0,06	1,63	2,90	0,24	6,51
CE2	8404,42	8792,25	34,67	48,07	101,88	485,33	672,96	1426,36
CE3	1766,49	1843,79	6,91	0,93	20,31	41,46	5,56	121,84
CE4	2140,84	2167,49	2,38	0,07	7,00	26,20	0,81	77,01
CE5	2471,18	2497,15	2,32	0,60	6,82	9,29	2,41	27,29
CE6	603,29	606,07	0,25	0,03	0,73	1,49	0,16	4,38
TOTAL	18753,60	19282,19	47,25	49,76	138,37	566,66	682,14	1663,40

Tabela 9- Gastos no tempo de vida (25 anos)

	Gastos energéticos (tep)	Gastos financeiros (€)	Gastos ambientais (ton CO <sub>2</sub> )
Total	14,2	17053,5	41,6

#### 4.5 Substituição de caldeiras/ou o seu combustível

Estudaram-se duas hipóteses a nível da caldeira, uma delas baseada no combustível usado e a outra no mercado em que estão inseridos. Sendo a caldeira a fonte de energia de todas as escolas, é um fator a ter em atenção e como tal investigaram-se formas de resolver o principal problema de elevados gastos financeiros.

Na primeira hipótese, estudou-se o combustível, isto é, simulou-se quais os melhores combustíveis, a nível de energia, ambiente, eficiência e financeiro. De todos os combustíveis é de realçar o gasóleo, o gás natural, eletricidade, *pellets* e lenha [22]. A nível de energia todos são idênticos e, portanto, qualquer um se ajustava ao caso. A maior parte do parque escolar usa combustíveis não renováveis, o que dificultou o fator ambiental. Logo o projeto procurou encontrar e conciliar o mais eficiente (menor consumo) e o mais amigo do ambiente [23]. Por último, tem-se o nível financeiro, que pretende reduzir os gastos financeiros. Para isso teve-se em conta o investimento inicial, de troca e retorno. Comparando todos estes níveis, foi possível escolher a melhor solução.

Depois de várias análises quando à troca das caldeiras e após algumas medidas já implementadas, concluiu-se que a troca seria por *pellets*, uma vez que tem os requisitos essenciais para ser a mais eficiente e a mais ambientalista. Ou seja, a eficiência é elevada (95%), o custo de aquisição é o segundo mais barato do mercado (0,053 €/kWh) [24] e liberta uma pequena quantidade de CO<sub>2</sub> para o ambiente.

Com a Tabela 10 consegue-se ver o gasto financeiro e energético anuais do estado atual das 6 categorias individualmente e das totais (45 escolas), e prova-se que o CE1 é a escola com maior gasto financeiro devido a talvez ter como fonte de energia o gás natural. Contudo, em termos energéticos o CE2 supera, pois apresenta o maior número de radiadores e usa como fonte de energia o gasóleo. Já a Tabela 11 mostra os gastos anuais, mas no estado melhorado e, como tal, constatou-se que o CE2 é o que apresenta o valor mais elevado tanto a nível energético como financeiro. A Tabela 12 mostra a comparação entre os dois estados, o atual e o melhorado de ambos os casos e observa-se as poupanças energéticas, financeiras e ambientais, poupando desse modo 11 tep, 103.000 € e 17,36 ton de CO<sub>2</sub>. Em termos energéticos e ambientais o CE2 é o que poupa mais, mas em termos financeiros é o CE1. De salientar que o CE6 devido a ser uma escola de tamanho reduzido apresenta pouco consumo,

logo uma mudança nesta escola não terá tanto impacto (poupanças no geral reduzidas). A Tabela 13 mostra as poupanças no parque escolar do Município num intervalo de tempo de 25 anos, ou seja, poupa-se 279 tep, 2.573.363 € e 434 ton de CO<sub>2</sub>.

*Tabela 10- Tipo de combustível, gastos financeiros e energéticos anuais do estado atual*

Tipo de escola	Combustível atual		Gasto financeiro (€)	Gasto energético (tep)	Gasto financeiro (€)	Gasto energético (tep)
	Gasóleo	Gás Natural	escola		tipo	
CE1	0	4	3168,51	0,30	12674,05	1,21
CE2	12	2	2432,14	0,77	34049,90	10,77
CE3	6	0	2024,91	0,16	12149,44	0,98
CE4	9	2	2257,50	0,19	24832,49	2,10
CE5	4	0	2963,09	0,22	11852,36	0,88
CE6	3	3	1754,86	0,06	10529,18	0,34
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>11</b>	<b>14601,01</b>	<b>1,71</b>	<b>106087,42</b>	<b>16,30</b>

*Tabela 11- Tipo de combustível, gastos financeiros e energéticos anuais do estado melhorado*

Tipo de escola	Combustível novo	Investimento (€)	Gasto energético (tep)	Gasto financeiro (€)	Gasto energético (tep)	Gasto financeiro (€)
	Pellets		escola		tipo	
CE1	4	18888,60	0,04	22,08	0,14	88,31
CE2	14	66110,10	0,31	192,50	4,38	2695,00
CE3	6	28332,90	0,02	13,03	0,13	78,16
CE4	11	51943,65	0,02	14,60	0,26	160,58
CE5	4	18888,60	0,03	15,86	0,10	63,44
CE6	6	28332,90	0,02	11,23	0,11	67,38
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>212496,75</b>	<b>0,44</b>	<b>269,29</b>	<b>5,12</b>	<b>3152,87</b>

*Tabela 12- Poupanças energéticas, financeiras e ambientais anuais*

Tipo de escola	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
		escola			tipo		
CE1	18888,60	0,27	3146,43	0,68	1,07	12585,74	2,72
CE2	66110,10	0,46	2239,64	0,92	6,39	31354,90	12,87
CE3	28332,90	0,14	2011,88	0,06	0,86	12071,28	0,37
CE4	51943,65	0,17	2242,90	0,07	1,84	24671,91	0,77
CE5	18888,60	0,20	2947,23	0,08	0,78	11788,92	0,30
CE6	28332,90	0,04	1743,63	0,05	0,23	10461,80	0,32
<b>TOTAL</b>	<b>212496,75</b>	<b>1,27</b>	<b>14331,71</b>	<b>1,86</b>	<b>11,17</b>	<b>102934,55</b>	<b>17,36</b>

*Tabela 13- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>TOTAL</b>	279,3	2573363,7	434,0

Na segunda hipótese, avaliou-se qual o melhor mercado a considerar, mas só é válido no gás natural ou eletricidade. Como referido anteriormente, existem dois tipos de mercados, o regular e o livre. No regular é cobrada uma tarifa, onde só existe uma empresa sempre com a mesma tarifa e o livre as pessoas podem ir trocando de empresa, conforme o preço vai variando [25]. De notar que existem dois combustíveis, a eletricidade que neste caso é toda fornecida pela Galp, logo é livre, enquanto que o gás natural é fornecido pela Beiragás. A Beiragás segue um mercado regulado e a Galp é livre. As escolas que usam este tipo de energia poderão mudar para Galp, apesar de não ser a mais económica do mercado, compensa relativamente à regular. Esta hipótese tem impacto caso não se mude os combustíveis, nem se insiram algumas medidas, porque com a implementação de painéis fotovoltaicos, vai deixar de haver compra de eletricidade, pois irá ser produzida a quantidade necessária para o consumo da escola. De realçar que esta hipótese, foi tida em consideração também para o fato de só se estar a simular 45 escolas e as outras 21 encontram-se com eletricidade e com gás natural disponível. Os preços variam consoante a empresa e podem ser vistos anualmente na Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) [26].

#### *4.6 Alteração do horário de funcionamento da iluminação*

O horário de funcionamento varia mais uma vez consoante o espaço onde nos encontramos, salas de aulas, corredor, casas de banho ou escadas/entrada.

Analisando a Tabela 15, pode-se concluir que a alteração vai fazer com que se poupe 10 horas/dia de uso de energia e por conseguinte poupar dinheiro e emissões de CO<sub>2</sub>. Observou-se que a sala de aula é a que tem maior consumo de energia, devido aos alunos passarem lá maior parte do tempo.

*Tabela 14- Horário de funcionamento atual e novo*

	Horário de funcionamento atual	Número total de horas	Horário de funcionamento novo	Número total de horas	Diferença de horas
Sala de aula	9h-16h30	7,5	9h-13h e 14h-16h30	6,5	1
Corredor	8h30-19h	10,5	8h30-9h30, 11h-11h30, 12h30-14h30 e 16h-18h30	6	4,5
Escadas/Entrada	8h30-19h	10,5	8h30-9h30, 11h-11h30, 12h30-14h30 e 16h-18h30	6	4,5
Casas de banho	-----	-----	-----	-----	-----

O estudo anterior baseava-se simplesmente na mudança do horário de uma forma manual, mas pode-se pensar numa alteração automatizada com sensores de movimento e de luz. Com os sensores não se iria ter um horário fixo, mas sim um horário que dependesse da presença das pessoas e desse modo obter-se-ia ainda uma maior poupança financeira e energética, em comparação com a mudança dos horários manualmente. De realçar que ao longo do trabalho para efeitos de cálculo de consumos e de poupanças serão estes horários usados, pois não se consegue simular com o sensor. Existe poupança com estes horários e foram usados no estudo das lâmpadas, portanto na poupança das lâmpadas, existe também uma pequena parte por ter sido ajustado o horário.

#### *4.7 Tecnologia LED*

Segundo a Norma 12464.1, as salas de aulas do ensino básico e secundário necessitam no mínimo de 300 lux e atualmente com as de halogénio estão com 500-550 lux consoante a área da sala. A cantina precisa de 200 lux e está como as salas de aulas com 500 lux o que excede em muito, razão pelo qual se escolheu realizar medidas de eficiência na iluminação. Nos corredores durante o dia são necessários 200 lux. Nas escadas 150 lux e nas casas de banho 100 lux. Estes valores levaram à proposta de diversas ideias para melhorias. [27].

Para se saber qual a lâmpada LED a usar, multiplicou-se o lux pela área do espaço e tem-se o lúmen e assim consegue-se pesquisar lâmpadas para se substituir as antigas por novas sem excesso de lúmen e assim poupar eletricidade.

O horário de funcionamento da iluminação varia consoante o espaço, destacando-se as escadas e o corredor como sendo as áreas de maior iluminação. Nas salas tem-se 150 h, nos corredores e entradas/escadas 120 h e nas casas de banho e na cantina apenas 60 h e 40 h, respetivamente.

Para as simulações e cálculos de eletricidade, considerou-se como referência do custo da eletricidade o valor de 0,161 €/kWh, que corresponde à tarifa aplicada pela Galp.

Na Tabela 15, encontra-se uma comparação com o estado atual das escolas, por divisória, e o estado mínimo em que se baseou na densidade luminosa necessária para cada divisão, através do *software dialux*. Estes valores são apenas por divisão e mensais, pelo que foi necessário multiplicar pelo número de salas e corredores, casas de banho e no fim multiplicar tudo pelo número de meses de funcionamento e obter assim a poupança anual, só com o consumo de energia.

A partir da tabela 15, percebeu-se que se desperdiça energia desnecessariamente em praticamente todas as divisões, exceto nas escadas, que são a única que fica dentro dos padrões.

Tabela 15- Iluminação no estado atual e o estado mínimo

	Estado atual					Luminância necessária numa escola	
	Lux med.	Lumens	W	kWh/mês	€/mês	Lux	Lumens
Salas de aulas 6(58)	750	44399	640,80	96,12	15,51	300	15600
Salas de aulas 4(58)	516	29599	427,20	64,08	10,34	300	15600
Salas de aulas 4(36)	479	28148	418,80	62,82	10,14	300	15600
Cantina	750	44399	640,80	25,63	4,14	200	10000
Corredor 4(58)	387	29599	427,20	89,71	14,48	200	14400
Corredor 2,5(58)	242	18659	270,00	56,70	9,15	200	14400
Corredor 7(36)	423	32839	488,60	102,61	16,56	200	14400
Corredor 2(36)	117	8984	140,00	29,40	4,75	200	14400
Escadas 2(58)	328	14800	213,60	44,86	7,24	150	4350
Escadas 1-0,5+0,5(58)	166	7463	108,00	22,68	3,66	150	4350
Escadas 3(36)	285	14074	209,60	44,02	7,10	150	4350
Casa de banho	215	235	20,00	4,20	0,68	100	110
Sala RL	343	28148	418,80	62,82	10,14	300	15600



De referir que foram analisadas três alternativas: 1) diminuir a potência das lâmpadas para os valores de lúmen necessários; 2) mudar para lâmpadas LED e desse modo, poupar energia e dinheiro, mesmo tendo que se ter um investimento inicial; 3) estudar um novo mapeamento das lâmpadas, isto é, averiguar se compensa usar duas lâmpadas ou só uma, mas com mais potência, sendo que o preço de aquisição e o tempo de vida útil seriam essenciais.

Na primeira hipótese, para trocar as lâmpadas LED, analisou-se qual seria a potência equivalente. Sendo assim, para substituir as lâmpadas T8 36 W, usaram-se LEDs T8 16W com um custo de 23,58 € para a T8 58W trocou-se por LED T8 20 W, custando 17,67 € e as lâmpadas usadas nas casas de banho 20W foram substituídas por LED 2W, com o preço de 3,52 € (todos os preços foram retirados do *getalamp* [28]). As outras características encontram-se no Anexo III.

A Tabela 16 mostra a potência, o consumo e as poupanças de cada setor implementando a troca de lâmpadas unicamente por LED. Houve uma redução de potência em todos os setores e com isso obteve-se poupança tanto energética como financeira.

*Tabela 16- Iluminação no estado de melhoria*

Estado melhoria					Poupança Energética	Poupança monetária
Lux med.	Lumens	W	kWh/mês	€/mês	kWh	€
534	31592	240,00	31,20	5,04	64,92	10,48
367	21061	160,00	20,80	3,36	43,28	6,99
434	25500	163,20	21,22	3,42	41,60	6,71
442	26469	240,00	9,60	1,55	16,03	2,59
231	17646	160,00	19,20	3,10	70,51	11,38
172	13276	100,00	12,00	1,94	44,70	7,21
384	29750	224,00	26,88	4,34	75,73	12,22
112	8500	64,00	7,68	1,24	21,72	3,51
233	10531	80,00	9,60	1,55	35,26	5,69
108	5311	40,00	4,00	0,65	18,68	3,01
258	12750	96,00	11,52	1,86	32,50	5,24
230	250	2,00	0,12	0,02	4,08	0,66
311	25500	163,20	21,22	3,42	41,60	6,71

A melhor opção é a substituição por lâmpadas LED com sensores de movimento, mas para a simulação não se considerou o sensor, mas sim o tempo de funcionamento acima referido. Na Tabela 17 prova-se que o CE5 é a escola em que se poupa mais a todos os níveis e que o CE4 e CE6 são ambos os casos onde se poupa menos. No total com a substituição das lâmpadas para LED, ou seja, com um investimento de 52.000 € consegue-se poupar 50 tep, 38.000 € e ainda reduzir 83 toneladas de emissões de CO<sub>2</sub>. Através da Tabela 18, analisa-se as poupanças do parque escolar no tempo de vida (25 anos), isto é, nos 25 anos, poupa 1.250 tep, 940.000 € e 2.096 ton de CO<sub>2</sub>.

*Tabela 17- Viabilidade da substituição de lâmpadas para LED*

Caso de estudo	Nº de escolas	Investimento Inicial (€)	Poupança energética (tep)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança financeira (€)	Poupança energética (tep)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança financeira (€)
			escola			tipo		
CE1	4	7732,00	1,65	2,76	1237,27	6,59	11,04	4949,09
CE2	14	14210,42	1,08	1,80	808,34	15,07	25,24	11316,76
CE3	6	6840,72	0,87	1,46	656,40	5,25	8,78	3938,41
CE4	11	7829,14	0,70	1,17	522,97	7,66	12,83	5752,69
CE5	4	5973,20	1,69	2,83	1270,00	6,77	11,33	5080,01
CE6	6	4270,44	0,70	1,17	522,97	4,18	7,00	3137,83
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>51541,51</b>	<b>7,35</b>	<b>12,31</b>	<b>5519,76</b>	<b>50,08</b>	<b>83,85</b>	<b>37592,28</b>

*Tabela 18- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança financeira (€)
<b>TOTAL</b>	1251,9	2096,2	939806,9

A terceira hipótese que poderá ser implementada com ambos os casos é o mapeamento, através do *dialux*. Para isso, analisaram-se vários tipos de cenários (Figuras 46 e 47), todos com poupanças e qualidade suficiente para os alunos poderem usufruir. De referir que cada sala tem de ter no mínimo 300 lux. A quantidade ideal seria a representada na Figura 48, que apresenta uniformidade de luminosidade pela sala.

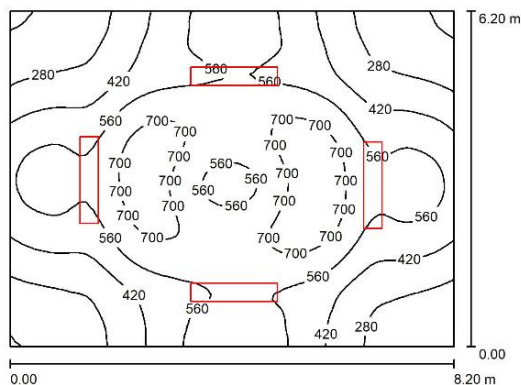


Figura 47- 1ª Opção de mapeamento

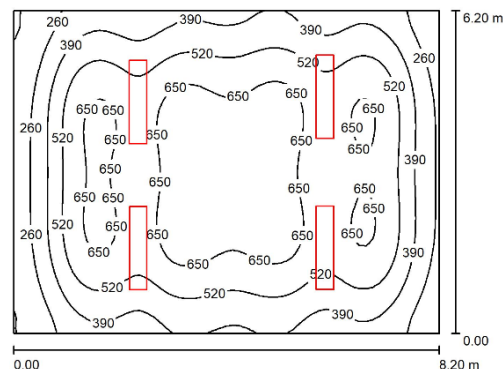


Figura 46- 2ª Opção de mapeamento

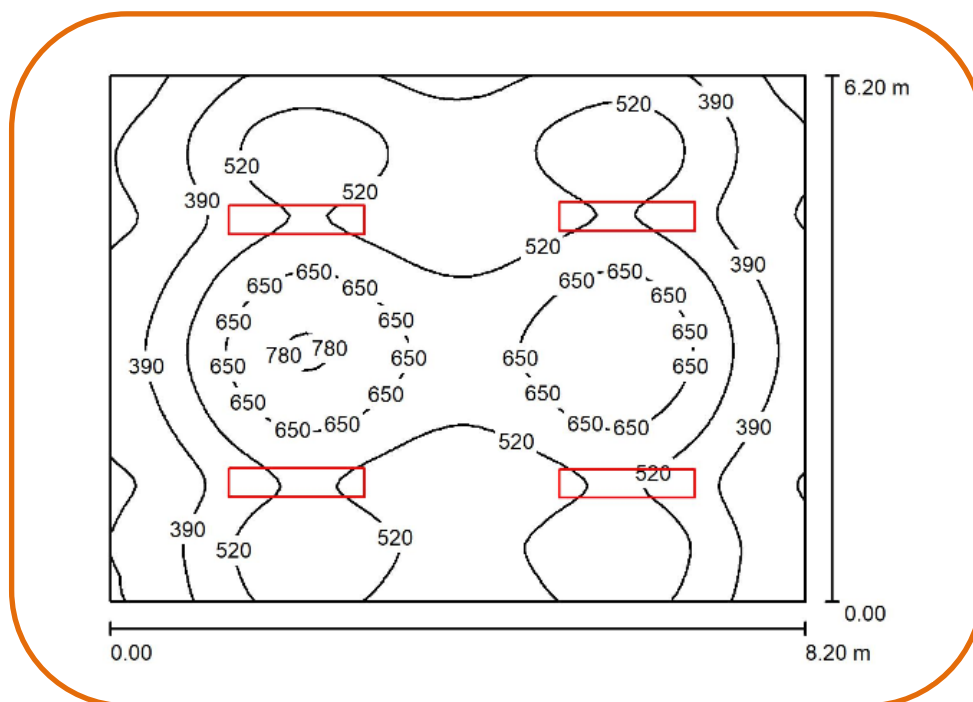


Figura 48- 3ª Opção e a ideal de mapeamento

Na Tabela 19 mostra as poupanças obtidas da implementação de um novo mapeamento mantendo as lâmpadas atuais. No CE2 e CE3 não existe poupança, pois ambos os casos apresentam já este mapeamento nas suas salas. Todos os outros casos apresentam uma poupança, isto é, devido ao fato de se reduzir o número de lâmpadas ir-se-ia poupar o valor correspondente ao preço das lâmpadas. Para além de que o consumo de energia irá reduzir,

tem-se o CE1 com maior poupança e o CE4 e CE6 com uma pequena poupança (a menor). No total (parque escolar), consegue-se poupar anualmente 1,22 tep, 913 € e 2 toneladas de CO<sub>2</sub>. Já a Tabela 20 mostra as poupanças no tempo de vida (25 anos), poupando 30 tep, 23.000 € e 51 toneladas de CO<sub>2</sub>.

*Tabela 19- Viabilidade da mudança do mapeamento da iluminação*

Caso de estudo	Poupança de investimento	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
		escola			tipo		
CE1	1177,92	0,12	89,09	0,20	0,47	356,37	0,79
CE2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CE3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CE4	1554,96	0,02	16,79	0,04	0,25	184,64	0,41
CE5	1030,40	0,09	67,92	0,15	0,36	271,67	0,61
CE6	848,16	0,02	16,79	0,04	0,13	100,71	0,22
<b>TOTAL</b>	<b>4611,44</b>	<b>0,25</b>	<b>190,58</b>	<b>0,43</b>	<b>1,22</b>	<b>913,39</b>	<b>2,04</b>

*Tabela 20- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>TOTAL</b>	30,4	22834,9	50,9

A Tabela 21 sumariza as poupanças obtidas através das diversas hipóteses estudadas. Com esta junção ter-se-á a substituição das lâmpadas para LED, mas também a redução do número de lâmpadas, e com isso diminui-se o investimento inicial, acompanhado pelo *payback* e ainda um aumento do retorno financeiro. Esta mesma tabela mostra que todas as poupanças aumentaram com a junção das duas hipóteses (2 e 3), sendo que o CE5 é o que apresenta maior poupança. Todas as 45 escolas poupam 46 tep, 78 toneladas de CO<sub>2</sub> e 35.000 €. Já na Tabela 22 tem-se as poupanças do parque escolar para o tempo de vida (25 anos), poupando 1.168 tep, 1.956 toneladas de CO<sub>2</sub> e 877.204 €.

Tabela 21- Viabilidade da conjugação de todas as hipóteses

Caso de estudo	Nº de escolas	Investimento Inicial (€)	Poupança energética (tep)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança financeira (€)	Poupança energética (tep)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança financeira (€)
			escola			tipo		
CE1	4	6035,68	1,77	2,96	1326,36	7,07	11,83	5305,46
CE2	14	14210,42	1,08	1,80	808,34	15,07	25,24	11316,76
CE3	6	6841,26	0,87	1,46	656,40	5,25	8,78	3938,41
CE4	11	6274,18	0,72	1,20	539,76	7,91	13,24	5937,34
CE5	4	4850,32	1,78	2,98	1337,92	7,13	11,94	5351,68
CE6	6	3422,28	0,72	1,20	539,76	4,31	7,22	3238,55
TOTAL	45	41634,14	6,94	11,62	5208,54	46,74	78,26	35088,19

Tabela 22- Poupanças no tempo de vida (25 anos)

	Poupança energética (tep)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança financeira (€)
TOTAL	1168,5	1956,6	877204,7

$$Payback_{\text{simples}} = \text{Investimento/Poupança}$$

$$Payback_{\text{simples}} = \frac{41.634,14}{35.088,19} = 1,18 \text{ anos}$$

Financeiramente e considerando o preço da eletricidade a 0,1614 €/kWh, conclui-se que ao investir 42.000 será possível poupar 35.000 € de eletricidade e com isso ter um retorno total de 1,2 anos, o que é muito reduzido, uma vez que estas lâmpadas têm uma vida útil de 25 anos. Portanto ao fim de vida das lâmpadas vai se ter um retorno cerca de 800.000 € (viabilidade económica demonstrada no gráfico 3).

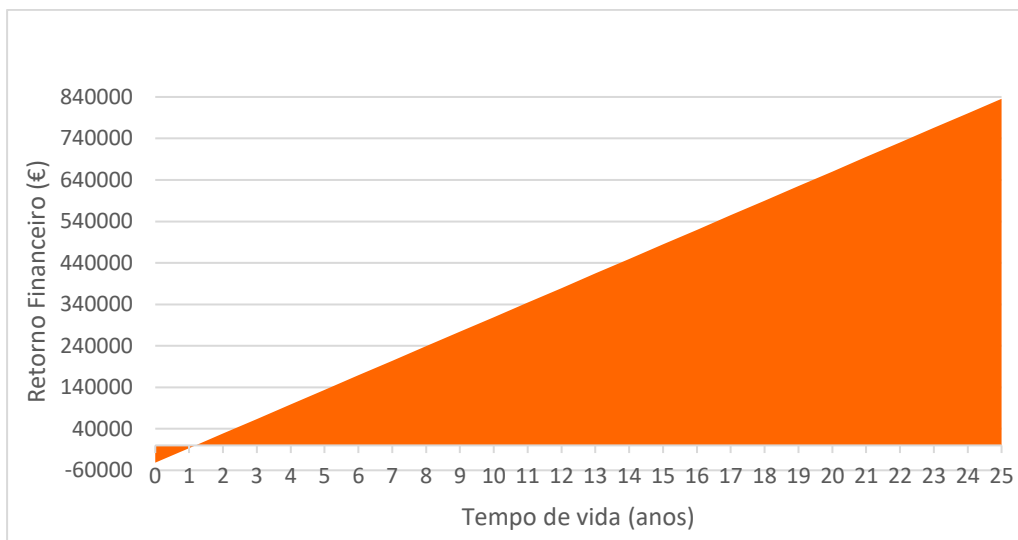


Gráfico 3- Viabilidade das lâmpadas LED com mapeamento

#### 4.8 Colocação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo

No que concerne a eficiência energética, os painéis solares são essenciais, porque originam energia renovável com uma fonte natural infinita. É uma medida com tanto poder e cheia de vantagens, mas com o inconveniente de um elevado investimento inicial e com retorno elevado e a longo prazo. Mas existem dois tipos de painéis:

- i) solares térmicos, que transformam radiação solar em energia térmica para aquecimento de água sanitária e outros fins;
- ii) solares fotovoltaicos, que transformam a radiação em energia elétrica para ser consumida pelos próprios ou pela rede [29]. Optou-se por escolher os painéis fotovoltaicos, uma vez que se queria produzir energia elétrica para o consumo das lâmpadas. Estes painéis seriam para autoconsumo e não para vender à rede, ou seja, seria unicamente para o consumo próprio [30].

Através da simulação em cada escola tipo, obteve-se o gasto energético elétrico e desse modo, conseguiu-se calcular a área necessária de painéis consoante o espaço disponível, mas teve-se de analisar que nem todo o espaço é propício para esta causa, uma vez que têm ângulos e orientações diferentes. Apenas se a orientação e o ângulo forem compatíveis para inserir e tirar o máximo proveito é que o estudo deverá ser feito. Para além do espaço, foi necessário estudar a regulamentação, pois até um certo limite de potência não é necessário

licenciamento e com isso pagamento de taxas: até 1,5 kW não era necessário licença, enquanto que para valores superiores a esse, é necessária uma autorização e um pagamento. Averiguou-se que com 1,5 kW satisfazia-se uma parte das necessidades da iluminação e dos equipamentos, sendo o restante comprado à rede. Não compensava exceder a potência, porque depois seria necessário vender energia à rede [31].

Outra questão a ter em conta é a orientação das escolas, porque influencia o consumo de gásóleo/gás natural para aquecimento, apesar de não ser muito significativo. Mas só foi estudado com todas as melhorias aplicadas no final do relatório.

Os painéis solares são mais eficientes se estiverem voltados para Sul, com uma inclinação de 38°, se estiverem com uma pequena inclinação para oeste ou este, pode levar a uma redução da captação na ordem dos 5%, desde que o ângulo se reduza para 25°. Devido a serem poucos painéis, todos os painéis terão a inclinação ideal em Portugal [32].

De notar que esta melhoria, é a de investimento mais elevado e com um retorno elevado (à partida), portanto tem de ser ponderada, mas, com tudo, deixa-se de consumir eletricidade da rede, porque essa energia será produzida no local, portanto no fim apesar do investimento, é uma medida verde e com poupança. Na Tabela 23 mostra-se o número de painéis, investimentos e principalmente as poupanças desta implementação, por escola e por cada categoria. O CE1 e CE5 (por escola) são os casos onde se poupa mais a todos os níveis. O parque escolar poupa no total 8,2 tep, 9.500 € e 48 toneladas de CO<sub>2</sub> (Tabela 23), enquanto no tempo de vida (25 anos), poupa 204 tep, 237.600 € e 1.200 toneladas de CO<sub>2</sub> (Tabela 24). Sendo o *payback* de 10,85 anos. A seguir a estas duas tabelas encontra-se o Gráfico 4 com a viabilidade desta implementação.

Tabela 23- Estudo da implementação de painéis fotovoltaicos

Caso de estudo	Nº de escolas	Nº painéis	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
				escola			tipo		
CE1	4	48	11880,00	0,28	321,00	0,46	1,11	1284,00	11,59
CE2	14	154	39270,00	0,25	295,00	0,43	3,55	4130,00	10,63
CE3	6	60	14850,00	0,21	241,00	0,35	1,25	1446,00	8,69
CE4	11	33	16335,00	0,07	80,00	0,11	0,74	880,00	2,83
CE5	4	48	11880,00	0,28	321,00	0,46	1,11	1284,00	11,59
CE6	6	18	8910,00	0,07	80,00	0,11	0,41	480,00	2,83
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>361</b>	<b>103125,00</b>	<b>1,15</b>	<b>1338,00</b>	<b>1,93</b>	<b>8,17</b>	<b>9504,00</b>	<b>48,16</b>

Tabela 24- Poupanças no tempo de vida (25 anos)

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>TOTAL</b>	204,1	237600,0	1204,1

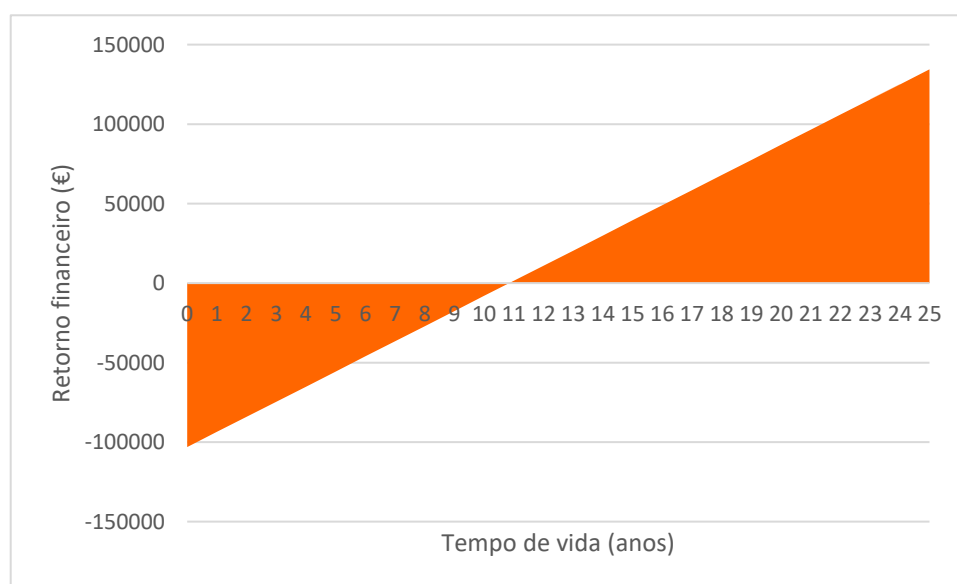


Gráfico 4- Viabilidade dos painéis fotovoltaicos



#### *4.9 Alteração de comportamentos*

Existe a possibilidade de poder reduzir os consumos sem qualquer investimento, fomentando mudanças comportamentais nas pessoas. Para incentivar estas alterações haverá um concurso, como forma de promover medidas de eficiência energética nas crianças deste ciclo de ensino, que passarão os hábitos aos respetivos familiares [33].

De seguida apresentam-se algumas dessas medidas:

- Fechar as portas das salas de modo a manter o conforto térmico interior, sem perdas para o exterior da sala;
- Desligar os radiadores manualmente quando a temperatura de conforto for alcançada e, desse modo, evitar desperdícios de energia;
- Desligar as luzes e abrir as cortinas, aproveitando desse modo a luz natural (proveniente do sol);
- Reduzir a temperatura de conforto;
- Reduzir o consumo de água, desligando as torneiras no final de cada utilização;
- Desligar os radiadores quando o espaço está desocupado;

#### *4.10 Substituição dos envidraçados*

Os envidraçados como as paredes apresentam materiais com condutibilidade térmica elevada e por isso também existe transferência de energia para o exterior. Com o *Designbuilder*® conseguiu-se observar que existem perdas energéticas. Uma forma de diminuir essas perdas seria o facto de aumentar a espessura do vidro e inserir um isolamento no meio, melhorando o isolamento acústico, devido à grossura e ao material do mesmo. O que interessa para a simulação é o coeficiente de transmissão térmica e o fator solar, que é influenciado com a espessura e com o material que se usa.

Para se poder escolher teve-se de simular várias propostas para as necessidades, os fatores que influenciam a escolha são as seguintes: transmissão térmica (U), fator solar, transmissão luminosa, índice de isolamento acústico e investimento, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25- Constituição de vários tipos de vidro

Vidro exterior - espessura	Câmara (mm)		Vidro interior		Transmissão térmica (W/(m²·C))	Fator solar (%)	Transmissão Luminosa (%)	Índice de isolamento acústico (dB)	Preço (€)	
	Gás	Espessura	Cor	Espessura						
4	AR	6	Azul	6	2,5	41	48	33	128,08	
		8			2,1	40	48	33	128,50	
		10			1,8	40	48	33	128,81	
		12			1,6	39	48	33	129,11	
		14			1,5	39	48	33	130,24	
		16			1,4	39	48	33	130,24	
		18			1,4	39	48	33	131,37	
		20			1,4	39	48	33	131,37	
		6	Cinzento	4	2,5	45	49	28	114,75	
		8			2,1	45	49	28	115,16	
		10			1,8	45	49	28	115,46	
		12			1,6	44	49	28	115,77	
		14			1,5	44	49	28	116,90	
		16			1,4	44	49	28	116,90	
		6			6	2,5	38	38	35	125,91
		8				2,1	38	38	35	126,32
		16	1,4	36		38	35	128,06		
		6	Verde	4		2,5	47	68	28	114,75
		16			1,4	45	68	28	116,90	
		16		6	1,4	39	62	35	128,06	
	Argon	10			azul	6	1,4	39	48	33
		12	1,3	39			48	33	136,29	
		14	1,1	38			48	33	137,42	
		16	1,1	38			48	33	137,42	
		18	1,1	38			48	33	138,86	
		20	1,1	38			48	33	138,86	
		10	Cinzento	4	1,4	44	49	28	122,64	
		16			1,1	44	49	28	124,08	
		10		6	1,4	36	38	35	133,81	
		16			1,1	36	38	35	135,25	
		10		Verde	6	1,4	39	62	35	133,81
		16				1,1	38	62	35	135,25
6	ar	16	azul	6	1,4	39	47	35	136,54	
	Argon	16			1,1	38	47	35	143,72	
		16	cinzento	4	1,1	36	38	33	130,39	
		6		1,1	44	48	34	141,55		
		16	verde	6	1,1	45	67	34	141,55	
8	ar	16		azul	6	1,4	45	67	33	145,95
	1,1		38			47	35	166,47		
	Argon		cinzento	4	1,1	44	48	33	153,13	
				6	1,1	36	38	35	164,29	
			verde	4	1,1	45	67	33	153,13	
				6	1,1	38	62	35	164,29	

Com a Tabela 25, resultado do estudo de mercado e de planeamento, conclui-se que quanto maior a espessura da câmara de gás, menor o valor de transmissão térmica (objetivo da eficiência energética. Para além deste fator, o fator solar diminui, mas de uma forma não notória. A transmissão luminosa mantém-se constante bem como o índice de isolamento acústico. Como de esperar quanto maior a espessura, maior o investimento para a construção. Em relação à câmara de gás pode-se ainda constatar que se existem diferenças com o material a usar, isto é, se se usar ar tem-se um valor maior de transmissão térmica.

A variação da cor do vidro faz alterar os valores do fator solar (a quantidade de radiação solar que chega ao interior, expressa-se como a percentagem entre a energia

transmitida e a energia incidente sobre o mesmo) e da transmissão luminosa (quantidade total de luz visível que atravessa um vidro, expressa-se como a percentagem entre luz transmitida e a luz que incide sobre o mesmo) [34]. Esses valores dependem muito do tipo de ambiente e para que altura do ano se quer poupar. Ou seja, se a altura for o Inverno, talvez se queira uma percentagem de transmissão luminosa e fator solar grande para se poder ter ganhos térmicos, mas já no verão quer-se um valor baixo, para se ter menos ganhos e maior isolamento.

Em termos financeiros pode-se ver que os valores são todos próximos, isto é, que apesar de aumentar a espessura e gastar mais dinheiro, o retorno é reduzido, pois a poupança a nível energético é grande.

Ref.	Elemento / local	Mínimo Regulamentar
1a)	Entre o exterior e os compartimentos receptores *	$D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) \geq 28 \text{ dB}$ – em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º1 do art. 11 do RGR $D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) \geq 33 \text{ dB}$ – em zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º1 do art. 11 do RGR $C$ ou $Ctr$ , somados a $D_{2m,nT,w}$ , quando área translúcida superior a 60% do elemento de fachada (função do tipo de ruído dominante na emissão).

Quadro 1- Requisitos acústicos exigidos em edifícios escolares e similares, e de Investigação (Art. 7º do RRAE)

Uma vez trocado o envidraçado, achou-se por bem analisar mais um fator, o fator acústico. De acordo com o Quadro 1, concluiu-se que qualquer um dos envidraçados analisados estava dentro do limite acústico imposto por lei (igual ou superior a 28 dB). [35].

Chegou-se à conclusão de que o coeficiente de transmissão varia entre 1,1 e 1,4, mas que tinha-se de perceber se o preço a pagar ia ser compensado no fim de contas pela poupança no consumo e assim se verificou que com 1,1 W/(m².°C), o investimento era maior (1,5€ por envidraçado), com uma poupança reduzida, no geral, dependendo do tipo de escola.

O vidro exterior tem uma espessura de 4 mm, com uma câmara de árgon de 16 mm e um vidro interior cinzento com 4 mm. As características técnicas são 1,1 W/(m².°C) em transmissão térmica, 44% no fator solar, 49% na transmissão luminosa e um índice de isolamento acústico de 28 dB.

Com esta escolha investiu-se 124 € por janela [36], que dependendo do tipo do edifício e de divisão podem variar. Como mostra a Tabela 26, uma escola do CE1 é a que o

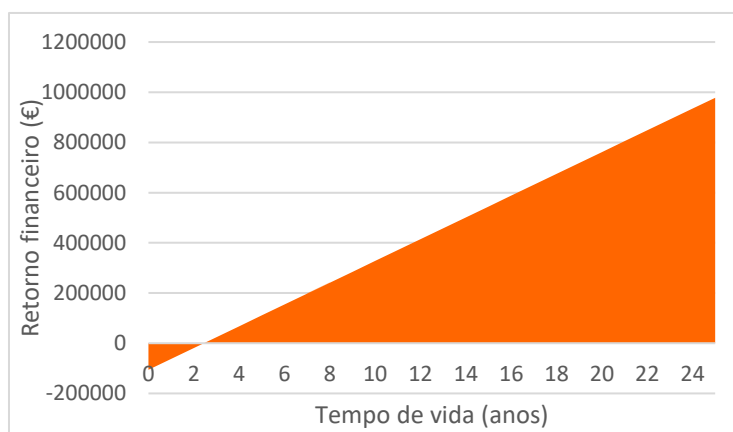
investimento é mais elevado devido a ser o caso com maior número de salas. Logo quanto maior o número de salas, maior é o investimento na troca dos envidraçados. Com esta substituição poupa-se anualmente 23 tep, 33.000 € e 66 toneladas de CO<sub>2</sub>, nos 25 anos de vida do projeto consegue-se poupar 581 tep, 830.000 € e 1.653 toneladas de CO<sub>2</sub> (Tabela 27). A viabilidade da mudança encontra-se no Gráfico 5.

*Tabela 26- Investimentos e poupanças anuais para a mudança de envidraçados*

Caso de estudo	Investimento (€)		Poupança energética (tep)		Poupança financeira (€)		Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	
	escola	tipo	escola	tipo	escola	tipo	escola	tipo
<b>CE1</b>	3496,57	13986,30	0,83	3,33	756,78	3027,14	1,88	7,53
<b>CE2</b>	2814,13	39397,88	0,78	10,94	1083,26	15165,65	2,30	32,14
<b>CE3</b>	2448,10	14688,59	0,36	1,44	538,68	3232,08	1,06	4,22
<b>CE4</b>	1560,93	17170,19	0,25	2,75	86,67	953,32	0,74	8,09
<b>CE5</b>	2814,13	11256,54	0,74	2,97	1435,90	8615,40	2,18	8,72
<b>CE6</b>	1560,93	9365,56	0,31	1,84	380,23	2281,41	0,90	5,42
<b>TOTAL</b>	<b>14694,79</b>	<b>105865,06</b>	<b>3,27</b>	<b>23,27</b>	<b>4281,52</b>	<b>33274,99</b>	<b>9,05</b>	<b>66,13</b>

*Tabela 27- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>TOTAL</b>	581,8	831874,7	1653,3



*Gráfico 5- Viabilidade dos envidraçados*

## Solução construtiva

A solução construtiva é relevante. Procurou-se nesse sentido substituir o alumínio por UPVC (*Unplasticized Polyvinyl Chloride*), uma vez que este último é um material que tem vindo a ser usado, pois na sua formação produz menos quantidades de CO<sub>2</sub> e pelas suas qualidades térmicas (Figura 49) [37].


<b>Caraterísticas do alumínio simples:</b>		<b>Caraterísticas do UPVC:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>-Prestações muito reduzidas como isolantes;</li><li>-Permite a condensação;</li><li>-Suscetível de oxidar e riscar;</li><li>-Suscetível de ser corroído num curto espaço de tempo;</li><li>-União mecânica das esquinas deficiente, não existe estanquicidade, o que permite entrada de ar e água;</li><li>-As esquinas são unidas por parafusos, que se podem desapertar.</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>-Excelente isolante térmico e alto isolante acústico;</li><li>-Durabilidade larga;</li><li>-Baixa permeabilidade ao ar, com alta estanquicidade à água;</li><li>-Imune à contaminação;</li><li>-Resiste à condensação;</li><li>-Fácil de limpar e mínima manutenção;</li><li>-Grande resistência mecânica (esquinas soldadas e perfis compostos de aço no seu interior).</li></ul>

Figura 49 - Caraterísticas do alumínio simples (esquerda); caraterísticas do UPVC (direita)

Apesar das caraterísticas da figura 49 (alumínio simples e UPVC) avaliou-se que o alumínio continuava a ser melhor, pois já se encontra tipos de alumínio com as mesmas ou melhores caraterísticas do UPVC e tem ainda a vantagem de ser reciclado e assim cumprir com uma economia circular. Portanto, se fosse para mudar seria para um alumínio com melhores condições de tratamento.

## Persianas

Várias escolas têm persiana interiores de tecido ou de alumínio. para ajustarem a iluminação exterior. As persianas de alumínio oferecem flexibilidade no verão e no inverno, pois pode-se ajustar as lâminas para controlar o brilho, a luz e o ganho solar. Por outro lado, as persianas de tecido, não oferecem esta flexibilidade. Ou seja, o alumínio é melhor em termos térmicos e em termos de durabilidade, uma vez que aguentam mais tempo que o tecido. Em termos financeiros, ambos têm aproximadamente o mesmo preço de aquisição, mas o alumínio seria uma melhor opção quando se tiver a construir algo novo, pois a troca face ao investimento e às necessidades não tem grandes ganhos significativos e o retorno é elevado.

Como se pode ver na Tabela 28, ao investir-se 68.200 €, existe uma poupança de 0,6 tep e que essa mesma poupança é verificada através do consumo do aquecimento que diminui, em nada substitui o consumo da luz e dos equipamentos. Através dessa poupança consegue-se reduzir 1,8 ton de CO<sub>2</sub> libertados para a atmosfera. De realçar que estes valores foram tidos em conta para o caso atual. A Tabela 29 mostra a poupança no tempo de vida, isto é, a poupança adquirida ao fim dos 25 anos, que será 16 tep, 19.700 € e 45,7 toneladas de CO<sub>2</sub>. O Gráfico 6 a seguir mostra a viabilidade da troca das persianas de tecido para alumínio, em que se consegue observar que ao fim de 25 anos ainda não se pagou o investimento.

*Tabela 28- Viabilidade das persianas- tecido vs alumínio*

Caso de estudo	Tecido (kWh)		Alumínio (kWh)		Investimento (€)		Poupança energética (tep)		Poupança financeira (€)		Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	
	Escola	Tipo	Escola	Tipo	Escola	Tipo	Escola	Tipo	Escola	Tipo	Escola	Tipo
CE1	3367,38	13469,52	3196,83	12787,32	2765,70	11062,80	0,015	0,06	13,85	55,39	0,03	0,14
CE2	8404,42	117661,88	8059,66	112835,24	1843,80	25813,20	0,031	0,43	42,73	598,23	0,09	1,27
CE3	1766,49	10598,94	1766,49	10598,94	1382,85	8297,10	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CE4	2140,86	23549,46	2035,44	22389,84	921,90	10140,90	0,009	0,10	3,26	35,89	0,03	0,30
CE5	2471,18	9884,72	2387,29	9549,16	1843,80	7375,20	0,007	0,03	21,77	87,08	0,02	0,09
CE6	619,72	3718,32	600,86	3605,16	921,90	5531,40	0,002	0,01	2,08	12,51	0,00	0,03
<b>TOTAL</b>	<b>18770,05</b>	<b>178882,84</b>	<b>18046,57</b>	<b>171765,66</b>	<b>9679,95</b>	<b>68220,60</b>	<b>0,06</b>	<b>0,64</b>	<b>83,70</b>	<b>789,10</b>	<b>0,18</b>	<b>1,83</b>

Tabela 29- Poupanças no tempo de vida (25 anos)

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>TOTAL</b>	15,9	19727,5	45,7

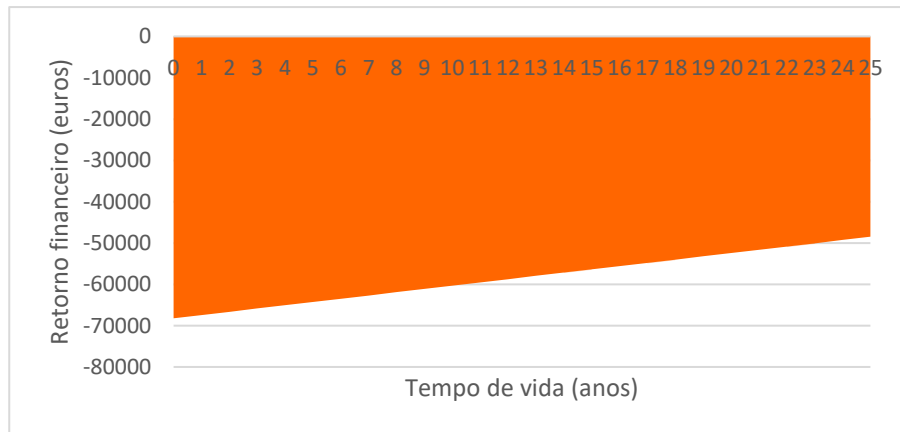


Gráfico 6- Viabilidade das persianas

#### 4.11 Reforço de isolamento

Pretende-se avaliar de uma forma individual a aplicação de *External Thermal Isolation Composite System* (ETICS) nas paredes exteriores das escolas. O sistema ETICS considerado é composto por placas de poliestireno expandido (EPS), portanto com o aumento do isolamento, ter-se-á um aumento da eficiência energética e isolamento acústico e desse modo haver mais segurança para os alunos, podendo ainda ser acrescida a diminuição de risco de incêndio com placas de lã de rocha [38]. Escolheu-se o EPS e não o XPS (poliestireno extrudido). De notar que este isolamento será exterior e não interior, devido principalmente à redução de espaço que afetaria a logística da sala de aula. Após ver o material, foi-se estudar a espessura, que podia variar entre 6 a 7 cm [39], concluiu-se que a melhor opção era 6 cm de EPS.

Pretende-se avaliar novamente de uma forma individual a aplicação de isolamento térmico na cobertura das escolas. Este isolamento contrariamente às paredes será aplicado no interior e não no exterior sobre as telhas (como esperado), porque é o método mais

económico. Usou-se uma lã de rocha, que trará para além do aumento do desempenho térmico, isolamento acústico e a diminuição contra riscos de incêndio.

Para efeitos de cálculo do EPS usou-se Tabela 30 [40], em que se vê a variação da espessura e dimensão face ao preço, já no caso da lã de rocha usou-se a Tabela 31. A Tabela 32 avalia a viabilidade económica desta medida, poupando no total 5 tep, 7.150 € e 115,9 ton de CO<sub>2</sub>. Multiplicando pelo tempo de vida (Tabela 33), obtém-se a poupança para o tempo da medida, isto é, poupa-se 112 tep, 160.800 € e 2.608 ton de CO<sub>2</sub>. No Gráfico 7 observa-se a viabilidade da medida ao longo do tempo.

*Tabela 30- Preço de aquisição de EPS consoante a espessura*

Tipo	Espessura	Dimensões	Preço / m2
EPS 100	20mm	1,00x0,50m	2,64 €
EPS 100	30mm	1,00x0,50m	3,96 €
EPS 100	40mm	1,00x0,50m	5,28 €
EPS 100	50mm	1,00x0,50m	6,60 €
EPS 100	60mm	1,00x0,50m	7,92 €
EPS 100	70mm	1,00x0,50m	9,24 €
EPS 100	80mm	1,00x0,50m	10,56 €
EPS 100	90mm	1,00x0,50m	11,88 €
EPS 100	100mm	1,00x0,50m	13,20 €
EPS 100	110mm	1,00x0,50m	14,52 €
EPS 100	120mm	1,00x0,50m	15,84 €

*Tabela 31- Preço de aquisição da lã de rocha consoante a espessura*

Tipo	Espessura	Dimensões	Preço / m2
Lã de rocha	60mm	0,800x0,625m	21,74 €
Lã de rocha	80mm	0,800x0,625m	28,97 €
Lã de rocha	100mm	0,800x0,625m	36,22 €
Lã de rocha	120mm	0,800x0,625m	43,44 €



Tabela 32- Investimentos e poupanças anuais na implementação de isolamentos

Caso de estudo	Área (m <sup>2</sup> )	Investimento - EPS 6mm (€)		Poupança energética (tep)		Poupança financeira (€)		Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )	
		escola	tipo	escola	tipo	escola	tipo	escola	tipo
CE1	670,52	5310,53	21242,14	0,11	0,43	75,40	301,60	2,95	11,80
CE2	620,20	4911,98	68767,78	0,11	1,56	167,41	2343,77	2,65	37,07
CE3	462,65	3664,16	21984,94	0,19	1,15	288,01	1728,09	4,21	25,28
CE4	360,28	2853,39	31387,25	0,02	0,19	25,96	285,60	1,64	18,09
CE5	634,45	5024,84	20099,38	0,34	1,34	502,82	2011,27	3,80	15,19
CE6	218,67	1731,87	10391,20	0,05	0,32	79,98	479,89	1,42	8,51
TOTAL		23496,77	173872,67	0,82	5,00	1139,59	7150,21	16,67	115,95

Tabela 33- Poupanças ao longo do tempo de vida (25 anos)

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
TOTAL	112,4	160879,8	2608,8

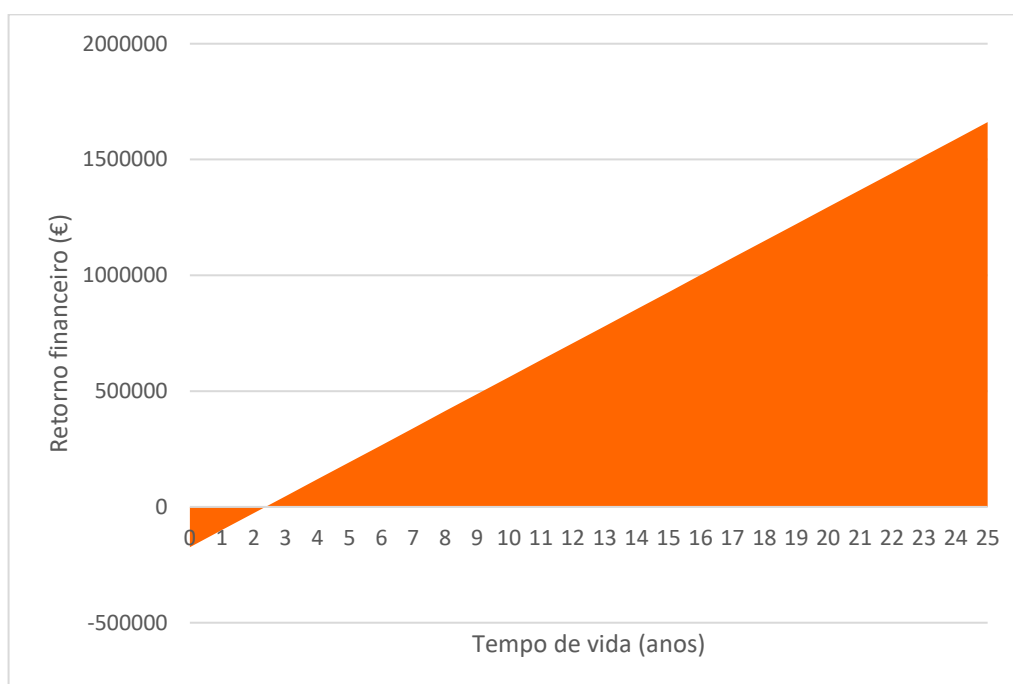


Gráfico 7- Viabilidade do isolamento

#### *4.12 Conclusão do capítulo 4*

Com estas medidas estudadas e analisadas, foi possível criar-se um plano para se poder implementar com todos os riscos já associados, bem como investimentos e poupanças. Os valores de poupanças e investimentos foram calculados sempre relativos ao caso atual e só no capítulo seguinte é que se vai estudar tudo junto, ou seja, todas as medidas que sejam praticáveis e com rentabilidade serão implementadas e será feito o estudo (investimentos e poupanças).

## *5. Análise e discussão de resultados*

## *5.1 Sumário*

O presente estudo permitiu obter algumas propostas de poupança energética e financeira para o Município de Viseu. Posteriormente, estudaram-se propostas equivalentes para outros Municípios nacionais, assumindo que o tipo de escolas é o mesmo e convertendo o clima em graus dia.

## *5.2 Avaliação técnico económica da viabilidade de implementação*

Nesta fase, já com as medidas implementadas nos casos de estudo, avaliaram-se as poupanças energéticas, financeiras e ambientais em cada caso de estudo consoante a sua orientação e mais tarde validaram-se estes resultados para outros municípios.

### *5.2.1 Local*

Começou-se por analisar os 6 tipos de edifícios, ver as suas melhorias e estudar os seus investimentos. Nessa análise, obtém-se o investimento necessário, a poupança tanto a nível de energia (tep), como financeira (€) e ainda ambiental (ton CO<sub>2</sub>). E desse modo, ter-se-á a viabilidade para o parque escolar do Município de Viseu.

As melhorias implementadas nos casos de estudo foram:

- Substituição da iluminação para LED;
- Substituição das caldeiras a gás natural ou gasóleo por *pellets*;
- Alteração do *set point* da caldeira 60°C para 55°C (Inverno);
- Introdução de revestimento (EPS) em todas as paredes exteriores;
- Substituição dos envidraçados para vidros duplos;
- Introdução de painéis fotovoltaicos para autoconsumo;
- Introdução de maior ventilação natural, ensinando aos docentes e aos funcionários das escolas;
- Introdução de sensores de movimento que fazem atuar as luzes;
- Se houver troca de caixilhos, devido à troca de envidraçados que insiram UPVC em vez de alumínio, pois como está provado anteriormente, existe mais isolamento e por isso menos consumo.

## CASO DE ESTUDO 1

Este tipo de escola sendo o maior em termos de tamanho, era de esperar ser o que consumiria maior energia. Por outro lado, sendo maior, as poupanças serão maiores, porque a mudança é mais notável. A orientação da escola influencia o consumo da mesma, devido aos ganhos solares. As orientações são: sul, este e sudoeste. Através da Tabela 34, analisa-se o fato da orientação influenciar as poupanças, ou seja, a escola a sudoeste poupa mais energia do que nas outras orientações. A Tabela 35, mostra as poupanças anuais, sendo que se poupou 8,1 tep, 19.513 € e 32,7 ton de CO<sub>2</sub>, e no fim de 25 anos, 201 tep, 487.828 € e 818 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 36).

*Tabela 34- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício*

Caso de estudo	Orientação	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>CE1</b>	Sul	18008,18	2,02	5728,66	8,09
	Sudeste	18008,18	2,03	5710,75	8,13
	Este	18008,18	1,94	3471,70	8,22
	Sudoeste	18008,18	2,07	4602,02	8,27

*Tabela 35- Investimento e poupanças anuais das escolas do caso de estudo 1*

Caso de estudo	Orientação	Nº de escolas	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>CE1</b>	Sul	1	18008,18	2,02	5728,66	8,09
	Sudeste	1	18008,18	2,03	5710,75	8,13
	Este	1	18008,18	1,94	3471,70	8,22
	Sudoeste	1	18008,18	2,07	4602,02	8,27
<b>TOTAL</b>		<b>4</b>	<b>72032,72</b>	<b>8,06</b>	<b>19513,13</b>	<b>32,72</b>

*Tabela 36- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>CE1</b>	201,5	487828,3	818,0

## CASO DE ESTUDO 2

Este caso de estudo é o que abrange o maior número de escolas do Município (14 no total). As orientações são: sul, sudeste, este, noroeste e sudoeste. Neste caso de estudo o fator da orientação não influenciou muito a poupança energética como se pode ver na Tabela 37, onde os valores são todos próximos. Na Tabela 38, observa-se que com este caso de estudo consegue-se poupar 24 tep, 45.900 € e 54,7 ton de CO<sub>2</sub>, sendo que no fim de vida (25 anos), poupa 606 tep, 1.140.000 € e 1.367 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 39).

*Tabela 37- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício*

Caso de estudo	Orientação	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>CE2</b>	Sul	16268,30	1,74	4152,64	3,17
	Sudeste	16268,30	1,73	2129,81	2,99
	Este	16268,30	1,71	4085,67	6,88
	Noroeste	16268,30	1,74	4118,00	6,99
	Sudoeste	16268,30	1,75	4169,03	7,02

*Tabela 38- Investimento e poupanças anuais das escolas do caso de estudo 2*

Caso de estudo	Orientação	Nº de escolas	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>CE2</b>	Sul	5	81341,49	8,68	20763,19	15,86
	Sudeste	6	97609,79	10,38	12778,86	17,96
	Este	1	16268,30	1,71	4085,67	6,88
	Noroeste	1	16268,30	1,74	4118,00	6,99
	Sudoeste	1	16268,30	1,75	4169,03	7,02
<b>TOTAL</b>		<b>14</b>	<b>227756,18</b>	<b>24,26</b>	<b>45914,75</b>	<b>54,70</b>

*Tabela 39- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
<b>CE2</b>	606,4	1147868,8	1367,6

### CASO DE ESTUDO 3

Este caso de estudo apresenta 4 escolas que se equiparam ao mesmo. Como referido anteriormente a orientação da escola influencia o aquecimento, devido aos ganhos solares. Este caso de estudo apresenta duas orientações, sendo que como se vê na Tabela 40, as poupanças são semelhantes (iguais na energia e ambiental e muito próxima no financeiro), já este caso de estudo no total poupa 5,9 tep, 18.000 € e 23,8 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 41) e em 25 anos poupa 148 tep, 459.000 € e 595 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 42).

*Tabela 40- Investimento e poupanças por escola consoante a orientação do edifício*

Caso de estudo	Orientação	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE3	Sul	14449,62	0,63	3052,31	2,52
	Sudeste	14449,62	0,63	3074,62	2,53

*Tabela 41- Investimento e poupanças das escolas do caso de estudo 3*

Caso de estudo	Orientação	Nº de escolas	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE3	Sul	3	43348,85	2,97	9156,92	11,91
	Sudeste	3	43348,85	2,97	9223,87	11,92
TOTAL		6	86697,69	5,93	18380,80	23,84

*Tabela 42- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE3	148,3	459519,9	595,9



## CASO DE ESTUDO 4

Este é o caso onde existem 11 escolas agrupadas, sendo o segundo caso de estudo com mais escolas e o primeiro com maior número de orientações são elas: sul, sudeste, este, nordeste, oeste e sudoeste. Com ajuda da Tabela 43, consegue-se analisar que a maior parte das orientações tem o mesmo padrão de poupanças. Só o sudoeste é que se destaca pela positiva, pois enriquece o Município com poupanças. Com o auxílio da Tabela 44, vê-se que este caso de estudo poupa 15,5 tep, 31.000 € e 62,4 ton de CO<sub>2</sub>, enquanto que com a Tabela 45, analisa-se a poupança dos 25 anos, e desse modo, poupa-se 387 tep, 783.000 € e 1.559 ton de CO<sub>2</sub>.

*Tabela 43- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício*

Caso de estudo	Orientação	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE4	Sul	11191,80	1,37	2497,75	5,51
	Sudeste	11191,80	1,35	2763,44	5,44
	Este	11191,80	1,35	3300,48	5,42
	Nordeste	11191,80	1,35	2443,47	5,43
	Oeste	11191,80	1,33	2482,45	5,38
	Sudoeste	11191,80	1,98	3237,04	7,97

*Tabela 44- Investimento e poupanças anuais das escolas do caso de estudo 4*

Caso de estudo	Orientação	Nº de escolas	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE4	Sul	2	22383,60	2,74	4995,50	11,03
	Sudeste	3	33575,40	4,05	8290,31	16,32
	Este	3	33575,40	4,04	9901,43	16,27
	Nordeste	1	11191,80	1,35	2443,47	5,43
	Oeste	1	11191,80	1,33	2482,45	5,38
	Sudoeste	1	11191,80	1,98	3237,04	7,97
TOTAL		11	123109,80	15,49	31350,20	62,40

*Tabela 45- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE4	387,3	783754,9	1559,9

## CASO DE ESTUDO 5

Este caso de estudo difere dos outros acima descritos, pois é de outro estilo de construção e os materiais base são diferentes, mas as melhorias vão ser as mesmas. O CE2 e o CE5 são semelhantes em termos de pisos e salas, por exemplo, mas apresentam diferenças como os materiais, logo surgiu a necessidade de fazer um estudo comparando estes dois tipos. As orientações deste caso de estudo têm uma particularidade, porque como todas as outras têm escolas orientadas para sul, este caso não apresenta nenhuma, encontrando-se estas orientadas para este e oeste, com poupanças energéticas e ambientais semelhantes, mas financeiras diferentes, com a escola a oeste poupar mais cerca de 2.000 € (Tabela 46). Todas as escolas deste caso de estudo, anualmente, poupam 6,7 tep, 19.665 € e 27 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 47), nos 25 anos de viabilidade do projeto poupam 168 tep, 491.000 e 679 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 48).

*Tabela 46- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício*

Caso de estudo	Orientação	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE5	Este	16743,70	1,68	4545,13	6,78
	Oeste	16743,70	1,69	6030,53	6,81

*Tabela 47- Investimento e poupanças das escolas do caso de estudo 5*

Caso de estudo	Orientação	Nº de escolas	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE5	Este	3	50231,10	5,05	13635,38	20,35
	Oeste	1	16743,70	1,69	6030,53	6,81
TOTAL		4	66974,80	6,73	19665,92	27,16

*Tabela 48- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE5	168,4	491647,9	679,0

## CASO DE ESTUDO 6

Neste caso acontece o mesmo que em CE5, isto é, são dois casos de estudo que são do mesmo tipo de construção, mas que contrariamente o que acontece ao CE2 e ao CE5. Portanto, entre o CE5 e CE6 o que difere é o fato de um ter um piso e duas salas e o outro dois pisos e quatro salas, respetivamente. Pelas mesmas razões descritas no CE5, este caso o CE6 pode ser comparado com o CE4. As orientações observadas foram: sul e sudeste, tendo as duas orientações estarem muito próximas a níveis energéticos e ambientais, mas em termos financeiros a orientação a sul poupa mais (Tabela 49). Com este caso de estudo existe uma poupança energética de 4,2 tep, uma financeira de 13.000 € e uma ambiental de 16,9 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 50), já no tempo de vida, poupa 105,7 tep, 338.000 € e 421 ton de CO<sub>2</sub> (Tabela 51).

*Tabela 49- Investimento e poupanças anuais por escola consoante a orientação do edifício*

Caso de estudo	Orientação	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE6	Sul	10070,32	0,71	2820,08	2,82
	Sudeste	10070,32	0,70	1972,24	2,80

*Tabela 50- Investimento e poupanças anuais das escolas do caso de estudo 6*

Caso de estudo	Orientação	Nº de escolas	Investimento (€)	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE6	Sul	2	20140,65	1,41	5640,17	5,65
	Sudeste	4	40281,29	2,81	7888,95	11,22
TOTAL		6	60421,94	4,23	13529,12	16,86

*Tabela 51- Poupanças no tempo de vida (25 anos)*

	Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
CE6	105,7	338227,9	421,6

Tendo o resultado anual para ambos os casos, bastou juntar tudo numa só tabela, para assim saber a poupança total do parque escolar de Viseu, como mostra a Tabela 52, ou seja, investindo-se 639.993,1 € nas escolas em análise do parque escolar do Município de Viseu, conclui-se que consegue-se poupar energeticamente 64,7 tep, financeiramente 148.353,9 € e ambientalmente 217,7 ton de CO<sub>2</sub>, será uma redução na fatura energética de 16,22% do parque escolar e uma redução de 1,28% do Município. Com estes valores o *payback* simples será de 4,29 anos.

*Tabela 52- Investimento e poupanças anuais do parque escolar do Município de Viseu*

	<b>Investimento (€)</b>	<b>Poupança energética (tep)</b>	<b>Poupança financeira (€)</b>	<b>Poupança ambiental (ton CO<sub>2</sub>)</b>
<b>Parque escolar</b>	636993,1	64,7	148353,9	217,7

Com estes valores foi-se calcular a taxa interna de retorno, TIR, (“...taxa usada como referência para quando um investimento pode ter retorno igual a zero.” [41]), o valor atual líquido, VAL, (“... avalia a viabilidade de um projeto de investimentos através do cálculo do valor atual de todos os seus cash-flows...” [42]) e deduzir a taxa mínima de atratividade, TMA, (“... taxa que representa o mínimo que um investimento deve remunerar para que seja considerado viável economicamente.” [43]) para desse modo poder estudar a viabilidade do projeto.

Deduzindo que TMA = 3%, obteve-se que o projeto tem uma TIR = 23 %, um VAL = 2.561.487,96 €, uma poupança energética de 1.617,5 tep e uma poupança ambiental de 5.442,5 ton de CO<sub>2</sub>, para 25 anos de vida. Como o TIR é superior ao TMA, o VAL é positivo e logo o investimento é viável. De notar, que não foi considerada a taxa de inflação da energia.

### 5.2.2 *Global*

Após ver-se a viabilidade no parque escolar do Município de Viseu, foi-se analisar se seria possível extrapolar para todas as escolas do país, segundo um fator de conversão que seria uma divisão dos graus dia de Viseu com os da região onde se quer estudar. Portanto se existe uma escola no país como um dos 6 edifícios tipo, onde as características são semelhantes, pode-se concluir os mesmos resultados multiplicando pelo fator de cada zona. De notar, que as escolas só poderão ser comparadas se tiverem as mesmas características e não algumas.

Os dados dos graus dia, bem como as regiões foram retiradas do livro “Temperaturas exteriores de projeto e números de graus-dias” [44]. Verificou-se que existem dois tipos de Tabela, uma para o Verão e outra para o Inverno, mas como o estudo se baseia no aquecimento e este só existe no Inverno neste caso, usou-se a Tabela do Inverno. Esta Tabela tinha vários valores consoante as temperaturas (12,14,16,18 e 20°C), conclui-se que a temperatura de análise foi a de 18°C devido a ser a referência em Portugal.

Para se concluir estas poupanças para o país inteiro, calculou-se um fator de conversão que não é mais que o rácio entre os graus-dia do novo local e os graus-dia de Viseu. Tendo este fator basta multiplicar pelas poupanças tanto energéticas, como financeiras e ambientais de Viseu e obtém-se as mesmas poupanças para o novo local.

Nas Tabelas seguintes mostra-se como se consegue extrapolar as poupanças de uma escola do Município de Viseu para outro qualquer Município (em Portugal), isto é, as Tabelas 53- 58 são referentes aos casos de estudo 1-6 respetivamente.

Portanto, tendo o local, os seus graus-dia e as poupanças gerais no local padrão, através da multiplicação de um rácio entre os graus-dia do novo local e de Viseu (referência) consegue-se obter as poupanças energéticas, financeiras e ambientais dependendo do caso de estudo e do local. Os valores usados como referência nas poupanças em cada caso de estudo é uma média do valor obtido anteriormente localmente, isto é, não irá sofrer influência da orientação. Para tal teria de ser feito um estudo mais pormenorizado.

Tabela 53- Poupanças do CE1 em Portugal

Número de ordem	Local	Graus-Dias	Fator de compensação	CE1		
				Poupança energética (tep)	Poupança energética (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
1	Montalegre	2785	1,47	2,98	7173,18	11,92
2	Bragança	2405	1,27	2,57	6194,43	10,29
3	Viana do castelo	1488	0,79	1,59	3832,56	6,37
4	Chaves	2178	1,15	2,33	5609,76	9,32
5	Braga	1684	0,89	1,80	4337,39	7,21
6	Pedras Salgadas	2178	1,15	2,33	5609,76	9,32
7	Mirandela	2011	1,06	2,15	5179,63	8,61
8	Miranda do douro	2425	1,28	2,59	6245,94	10,38
9	Santo Tirso	1566	0,83	1,67	4033,46	6,70
10	Vila Real	2112	1,12	2,26	5439,77	9,04
11	Paços de Ferreira	1757	0,93	1,88	4525,41	7,52
12	Porto P. Rubras	1539	0,81	1,65	3963,92	6,59
13	Regua	1585	0,84	1,69	4082,40	6,78
14	Pinhão S. Barbara	1581	0,83	1,69	4072,10	6,77
15	Porto S. do Pilar	1529	0,81	1,63	3938,16	6,54
16	Bigorne	2276	1,20	2,43	5862,17	9,74
17	Figueira C. rodrigo	2343	1,24	2,51	6034,74	10,03
18	Serra da Muna	1982	1,05	2,12	5104,93	8,48
19	Viseu	1894	1,00	2,03	4878,28	8,11
20	S. Jacinto B. Aerea	1295	0,68	1,38	3335,46	5,54
21	Caramulo	1928	1,02	2,06	4965,85	8,25
22	Guarda	2091	1,10	2,24	5385,68	8,95
23	Dunas de Mira	1570	0,83	1,68	4043,77	6,72
24	Anadia	1496	0,79	1,60	3853,17	6,40
25	Penhas Douradas	3034	1,60	3,24	7814,51	12,99
26	Lagoa Comprida	2965	1,57	3,17	7636,79	12,69
27	Penhas da Saude	2973	1,57	3,18	7657,40	12,73
28	Coimbra/Bencanta	1468	0,78	1,57	3781,05	6,28
29	Coimbra/Geofísico	1433	0,76	1,53	3690,90	6,13
30	Montemor-o-Velho	1446	0,76	1,55	3724,39	6,19
31	Fundão	1776	0,94	1,90	4574,35	7,60
32	Zebreira	1507	0,80	1,61	3881,50	6,45
33	Castelo Branco	1532	0,81	1,64	3945,89	6,56
34	Marinha Grande	1545	0,82	1,65	3979,37	6,61
35	Alcobaca	1473	0,78	1,57	3793,93	6,30
36	Tancos Base Aerea	1478	0,78	1,58	3806,81	6,33
37	Alvega	1548	0,82	1,66	3987,10	6,63
38	Marvão	2085	1,10	2,23	5370,22	8,92
39	Cabo Carvoeiro	1109	0,59	1,19	2856,39	4,75
40	Rio Maior	1473	0,78	1,57	3793,93	6,30
41	Portalegre	1683	0,89	1,80	4334,81	7,20
42	Santarem	1368	0,72	1,46	3523,48	5,86
43	Fonte Boa	1271	0,67	1,36	3273,65	5,44
44	Óta Base Aerea	1236	0,65	1,32	3183,50	5,29
45	Benavita	1258	0,66	1,35	3240,16	5,38
46	Dois Portos	1216	0,64	1,30	3131,99	5,20
47	Salvaterra de Magos	1392	0,73	1,49	3585,30	5,96
48	Mora	1373	0,72	1,47	3536,36	5,88
49	Elvas	1320	0,70	1,41	3399,85	5,65
50	Sintra/Granja	1314	0,69	1,40	3384,40	5,62
51	Cabo da Roca	1082	0,57	1,16	2786,85	4,63
52	Lisboa/Portela	1276	0,67	1,36	3286,53	5,46
53	Lisboa/Geofísico	1029	0,54	1,10	2650,34	4,40
54	Pegões	1343	0,71	1,44	3459,09	5,75
55	Evora	1431	0,76	1,53	3685,75	6,13
56	Setúbal	1288	0,68	1,38	3317,43	5,51
57	Evora/Currais	1560	0,82	1,67	4018,01	6,68
58	Setúbal/Selenave	873	0,46	0,93	2248,54	3,74
59	Sesimbra/Maca	1440	0,76	1,54	3708,93	6,16
60	Alcacer do Sal	1283	0,68	1,37	3304,55	5,49
61	Viana do Alentejo	1389	0,73	1,49	3577,57	5,95
62	Amareleja	1528	0,81	1,63	3935,59	6,54
63	Contento	1422	0,75	1,52	3662,57	6,09
64	Beja	1417	0,75	1,52	3649,69	6,07
65	Sines	980	0,52	1,05	2524,13	4,19
66	Alvalade	1324	0,70	1,42	3410,16	5,67
67	Mértola/V. Formoso	1356	0,72	1,45	3492,58	5,80
68	Zambujeira	1212	0,64	1,30	3121,68	5,19
69	Caldas de Monchique	1032	0,58	1,17	2812,61	4,67
70	V. Real ST. Antonio	1090	0,58	1,17	2807,45	4,67
71	Praia da Rocha	1000	0,53	1,07	2575,65	4,28
72	Tavira	1045	0,55	1,12	2691,55	4,47
73	Vila do Bispo	1002	0,53	1,07	2580,80	4,29
74	Faro	1025	0,54	1,10	2640,04	4,39
75	Sagres	776	0,41	0,83	1998,70	3,32
76	Corvo (Corvo)	598	0,32	0,64	1540,24	2,56
77	Flores (Flores)	755	0,40	0,81	1944,61	3,23
78	Barro Verm. (Graciosa)	624	0,33	0,67	1607,20	2,67
79	A. Heroísmo (Terceira)	794	0,42	0,85	2045,06	3,40
80	Queimada (S. Jorge)	667	0,35	0,71	1717,96	2,85
81	Madalena (Pico)	583	0,31	0,62	1501,60	2,50
82	Horta (Faial)	602	0,32	0,64	1550,54	2,58
83	P. Delgada (S. Miguel)	733	0,39	0,78	1887,95	3,14
84	Santa Maria (S. Maria)	607	0,32	0,65	1563,42	2,60
85	Porto Santo (P. Santo)	391	0,21	0,42	1007,08	1,67
86	Funchal (S. C. (Madeira)	344	0,18	0,37	886,02	1,47

Tabela 54- Poupanças para o CE2 em Portugal

Número de ordem	Local	Graus-Dias	Fator de compensação	CE2		
				Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
1	Montalegre	2785	1,47	2,55	4822,47	10,28
2	Bragança	2405	1,27	2,20	4164,47	8,88
3	Viana do castelo	1488	0,79	1,36	2576,60	5,49
4	Chaves	2178	1,15	2,00	3771,40	8,04
5	Braga	1684	0,89	1,54	2915,99	6,22
6	Pedras Salgadas	2178	1,15	2,00	3771,40	8,04
7	Mirandela	2011	1,06	1,84	3482,22	7,42
8	Miranda do douro	2425	1,28	2,22	4199,10	8,95
9	Santo Tirso	1566	0,83	1,44	2711,67	5,78
10	Vila Real	2112	1,12	1,94	3657,11	7,80
11	Paços de Ferreira	1757	0,93	1,61	3042,40	6,48
12	Porto P. Rubras	1539	0,81	1,41	2664,91	5,68
13	Regua	1585	0,84	1,45	2744,57	5,85
14	Pinhão S. Barbara	1581	0,83	1,45	2737,64	5,84
15	Porto S. do Pilar	1529	0,81	1,40	2647,60	5,64
16	Bigorne	2276	1,20	2,09	3941,10	8,40
17	Figueira C. rodrigo	2343	1,24	2,15	4057,11	8,65
18	Serra da Muna	1982	1,05	1,82	3432,01	7,32
19	Viseu	1894	1,00	1,74	3279,63	6,99
20	S. Jacinto B. Aerea	1295	0,68	1,19	2242,41	4,78
21	Caramulo	1928	1,02	1,77	3338,50	7,12
22	Guarda	2091	1,10	1,92	3620,75	7,72
23	Dunas de Mira	1570	0,83	1,44	2718,59	5,79
24	Anadia	1496	0,79	1,37	2590,46	5,52
25	Penhas Douradas	3034	1,60	2,78	5253,64	11,20
26	Lagoa Comprida	2965	1,57	2,72	5134,16	10,94
27	Penhas da Saúde	2973	1,57	2,72	5148,01	10,97
28	Coimbra Bencanta	1468	0,78	1,35	2541,97	5,42
29	Coimbra Geofísico	1433	0,76	1,31	2481,37	5,29
30	Montemor-o-Velho	1446	0,76	1,33	2503,88	5,34
31	Fundão	1776	0,94	1,63	3075,30	6,56
32	Zebreira	1507	0,80	1,38	2609,50	5,56
33	Castelo Branco	1532	0,81	1,40	2652,79	5,65
34	Marinha Grande	1545	0,82	1,42	2675,30	5,70
35	Alcobaca	1473	0,78	1,35	2550,63	5,44
36	Tancos Base Aerea	1478	0,78	1,35	2559,29	5,46
37	Alvega	1548	0,82	1,42	2680,50	5,71
38	Marvão	2085	1,10	1,91	3610,36	7,70
39	Cabo Carvoeiro	1109	0,59	1,02	1920,33	4,09
40	Rio Maior	1473	0,78	1,35	2550,63	5,44
41	Portalegre	1683	0,89	1,54	2914,26	6,21
42	Santarém	1368	0,72	1,25	2368,81	5,05
43	Fonte Boa	1271	0,67	1,16	2200,85	4,69
44	Óliva Base Aerea	1236	0,65	1,13	2140,24	4,56
45	Benavita	1258	0,66	1,15	2178,34	4,64
46	Dois Portos	1216	0,64	1,11	2105,61	4,49
47	Salvaterra de Magos	1392	0,73	1,28	2410,37	5,14
48	Mora	1373	0,72	1,26	2377,47	5,07
49	Elvas	1320	0,70	1,21	2285,70	4,87
50	Sintra Granja	1314	0,69	1,20	2275,31	4,85
51	Cabo da Roca	1082	0,57	0,99	1873,58	3,99
52	Lisboa Portela	1276	0,67	1,17	2209,51	4,71
53	Lisboa Geofísico	1029	0,54	0,94	1781,80	3,80
54	Pegões	1343	0,71	1,23	2325,52	4,96
55	Evora	1431	0,76	1,31	2477,90	5,28
56	Setúbal	1288	0,68	1,18	2230,29	4,75
57	Evora Currais	1560	0,82	1,43	2701,28	5,76
58	Setúbal Selenave	873	0,46	0,80	1511,68	3,22
59	Sesimbra Maca	1440	0,76	1,32	2493,49	5,31
60	Alcacer do Sal	1283	0,68	1,18	2221,63	4,74
61	Viana do Alentejo	1389	0,73	1,27	2405,18	5,13
62	Amareleja	1528	0,81	1,40	2645,87	5,64
63	Contento	1422	0,75	1,30	2462,32	5,25
64	Beja	1417	0,75	1,30	2453,66	5,23
65	Sines	980	0,52	0,90	1696,96	3,62
66	Alvalade	1324	0,70	1,21	2292,62	4,89
67	Mertola V. Formoso	1356	0,72	1,24	2348,03	5,00
68	Zambujreira	1212	0,64	1,11	2098,69	4,47
69	Caldas de Monchique	1092	0,58	1,00	1890,89	4,03
70	V. Real ST. Antonio	1090	0,58	1,00	1887,43	4,02
71	Praia da Rocha	1000	0,53	0,92	1731,59	3,69
72	Tavira	1045	0,55	0,96	1809,51	3,86
73	Vila do Bispo	1002	0,53	0,92	1735,05	3,70
74	Faro	1025	0,54	0,94	1774,88	3,78
75	Sagres	776	0,41	0,71	1343,71	2,86
76	Corvo (Corvo)	598	0,32	0,55	1035,49	2,21
77	Flores (Flores)	755	0,40	0,69	1307,35	2,79
78	Barro Verm. (Graciosa)	624	0,33	0,57	1080,51	2,30
79	A. Heroísmo (Terceira)	794	0,42	0,73	1374,88	2,93
80	Queimada (S. Jorge)	667	0,35	0,61	1154,97	2,46
81	Madalena (Pico)	583	0,31	0,53	1009,52	2,15
82	Horta (Faial)	602	0,32	0,55	1042,42	2,22
83	P. Delgada (S. Miguel)	733	0,39	0,67	1269,25	2,71
84	Santa Maria (S. Maria)	607	0,32	0,56	1051,07	2,24
85	Porto Santo (P. Santo)	391	0,21	0,36	677,05	1,44
86	Funchal S.C. (Madeira)	344	0,18	0,32	595,67	1,27

Tabela 55- Poupanças do CE3 em Portugal

Número de ordem	Local	Graus-Dias	Fator de compensação	CE3		
				Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
1	Montalegre	2785	1,47	2,89	4504,62	11,65
2	Bragança	2405	1,27	2,50	3889,99	10,06
3	Viana do castelo	1488	0,79	1,55	2406,78	6,22
4	Chaves	2178	1,15	2,26	3522,82	9,11
5	Braga	1684	0,89	1,75	2723,80	7,04
6	Pedras Salgadas	2178	1,15	2,26	3522,82	9,11
7	Mirandela	2011	1,06	2,09	3252,71	8,41
8	Miranda do douro	2425	1,28	2,52	3922,34	10,14
9	Santo Tirso	1566	0,83	1,63	2532,94	6,55
10	Vila Real	2112	1,12	2,19	3416,07	8,83
11	Paços de Ferreira	1757	0,93	1,82	2841,87	7,35
12	Porto P. Rubras	1539	0,81	1,60	2489,27	6,44
13	Régua	1585	0,84	1,65	2563,67	6,63
14	Pinhão S. Barbara	1581	0,83	1,64	2557,20	6,61
15	Porto S. do Pilar	1529	0,81	1,59	2473,09	6,39
16	Bigorne	2276	1,20	2,36	3681,34	9,52
17	Figueira C. Rodrigo	2343	1,24	2,43	3789,71	9,80
18	Serra da Muna	1982	1,05	2,06	3205,80	8,29
19	Viseu	1894	1,00	1,97	3063,47	7,92
20	S. Jacinto B. Aerea	1295	0,68	1,34	2094,61	5,42
21	Caramulo	1928	1,02	2,00	3118,46	8,06
22	Guarda	2091	1,10	2,17	3382,11	8,74
23	Dunas de Mira	1570	0,83	1,63	2539,41	6,57
24	Anadia	1496	0,79	1,55	2419,72	6,26
25	Penhas Douradas	3034	1,60	3,15	4907,37	12,69
26	Lagoa Comprida	2965	1,57	3,08	4795,76	12,40
27	Penhas da Saude	2973	1,57	3,09	4808,70	12,43
28	Coimbra Bencanta	1468	0,78	1,52	2374,43	6,14
29	Coimbra Geofísico	1433	0,76	1,49	2317,82	5,99
30	Montemor-o-Velho	1446	0,76	1,50	2338,85	6,05
31	Fundão	1776	0,94	1,84	2872,61	7,43
32	Zebreira	1507	0,80	1,56	2437,51	6,30
33	Castelo Branco	1532	0,81	1,59	2477,95	6,41
34	Marinha Grande	1545	0,82	1,60	2498,97	6,46
35	Alcobaca	1473	0,78	1,53	2382,52	6,16
36	Tancos Base Aerea	1478	0,78	1,53	2390,60	6,18
37	Alvega	1548	0,82	1,61	2503,83	6,47
38	Marvão	2085	1,10	2,16	3372,40	8,72
39	Cabo Carvoeiro	1109	0,59	1,15	1793,76	4,64
40	Rio Maior	1473	0,78	1,53	2382,52	6,16
41	Portalegre	1683	0,89	1,75	2722,18	7,04
42	Santarem	1368	0,72	1,42	2212,68	5,72
43	Fonte Rã	1271	0,67	1,32	2055,79	5,32
44	Óta Base Aerea	1236	0,65	1,28	1999,18	5,17
45	Benavita	1258	0,66	1,31	2034,76	5,26
46	Dois Portos	1216	0,64	1,26	1966,83	5,09
47	Salvaterra de Magos	1392	0,73	1,45	2251,50	5,82
48	Mora	1373	0,72	1,43	2220,77	5,74
49	Elvas	1320	0,70	1,37	2135,05	5,52
50	Sintra Granja	1314	0,69	1,36	2125,34	5,50
51	Cabo da Roca	1082	0,57	1,12	1750,09	4,52
52	Lisboa Portela	1276	0,67	1,32	2063,88	5,34
53	Lisboa Geofísico	1029	0,54	1,07	1664,36	4,30
54	Pegões	1343	0,71	1,39	2172,25	5,62
55	Evora	1431	0,76	1,49	2314,58	5,98
56	Setúbal	1288	0,68	1,34	2083,29	5,39
57	Evora Currais	1560	0,82	1,62	2523,24	6,52
58	Setúbal Seta Nave	873	0,46	0,91	1412,04	3,65
59	Sesimbra Maca	1440	0,76	1,50	2329,14	6,02
60	Alcacer do Sal	1283	0,68	1,33	2075,20	5,37
61	Viana do Alentejo	1389	0,73	1,44	2246,65	5,81
62	Amareleja	1528	0,81	1,59	2471,48	6,39
63	Conteioa	1422	0,75	1,48	2300,03	5,95
64	Beja	1417	0,75	1,47	2291,94	5,93
65	Sines	980	0,52	1,02	1585,11	4,10
66	Alvalade	1324	0,70	1,37	2141,52	5,54
67	Mértola V. Formoso	1356	0,72	1,41	2193,27	5,67
68	Zambujeira	1212	0,64	1,26	1960,36	5,07
69	Caldas de Monchique	1092	0,58	1,13	1766,26	4,57
70	V. Real ST. Antonio	1090	0,58	1,13	1763,03	4,56
71	Praia da Rocha	1000	0,53	1,04	1617,46	4,18
72	Tavira	1045	0,55	1,09	1690,24	4,37
73	Vila do Bispo	1002	0,53	1,04	1620,69	4,19
74	Faro	1025	0,54	1,06	1657,90	4,29
75	Sagres	776	0,41	0,81	1255,15	3,25
76	Corvo (Corvo)	598	0,32	0,62	967,24	2,50
77	Flores (Flores)	755	0,40	0,78	1221,18	3,16
78	Barro Verm. (Graciosa)	624	0,33	0,65	1009,29	2,61
79	A. Heroísmo (Terceira)	794	0,42	0,82	1284,26	3,32
80	Queimada (S. Jorge)	667	0,35	0,69	1078,84	2,79
81	Madalena (Pico)	583	0,31	0,61	942,98	2,44
82	Horta (Faial)	602	0,32	0,63	973,71	2,52
83	P. Delgada (S. Miguel)	733	0,39	0,76	1185,60	3,07
84	Santa Maria (S. Maria)	607	0,32	0,63	981,80	2,54
85	Porto Santo (P. Santo)	391	0,21	0,41	632,43	1,64
86	Funchal S. C. (Madeira)	344	0,18	0,36	556,41	1,44



Tabela 56- Poupanças do CE4 em Portugal

Número de ordem	Local	Graus-Dias	Fator de compensação	CE4		
				Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
1	Montalegre	2785	1,47	2,07	4190,76	8,34
2	Bragança	2405	1,27	1,79	3618,95	7,21
3	Viana do castelo	1488	0,79	1,11	2239,09	4,46
4	Chaves	2178	1,15	1,62	3277,37	6,53
5	Braga	1684	0,89	1,25	2534,02	5,05
6	Pedras Salgadas	2178	1,15	1,62	3277,37	6,53
7	Mirandela	2011	1,06	1,50	3026,08	6,03
8	Miranda do douro	2425	1,28	1,80	3649,05	7,27
9	Santo Tirso	1566	0,83	1,17	2356,46	4,69
10	Vila Real	2112	1,12	1,57	3178,06	6,33
11	Paços de Ferreira	1757	0,93	1,31	2643,87	5,26
12	Porto P. Rubras	1539	0,81	1,14	2315,83	4,61
13	Pegua	1585	0,84	1,18	2385,05	4,75
14	Pinhão S. Barbara	1581	0,83	1,18	2379,03	4,74
15	Porto S. do Pilar	1529	0,81	1,14	2300,78	4,58
16	Bigorne	2276	1,20	1,69	3424,84	6,82
17	Figueira C. rodrigo	2343	1,24	1,74	3525,66	7,02
18	Serra da Muna	1982	1,05	1,47	2982,44	5,94
19	Viseu	1894	1,00	1,41	2850,02	5,68
20	S. Jacinto B. Aerea	1295	0,68	0,96	1948,67	3,88
21	Caramulo	1928	1,02	1,43	2901,18	5,78
22	Guarda	2091	1,10	1,56	3146,46	6,27
23	Dunas de Mira	1570	0,83	1,17	2362,48	4,70
24	Anadia	1436	0,79	1,11	2251,12	4,48
25	Penhas Douradas	3034	1,60	2,26	4565,45	9,09
26	Lagoa Comprida	2965	1,57	2,21	4461,62	8,88
27	Penhas da Saude	2973	1,57	2,21	4473,66	8,91
28	Coimbra Bencanta	1468	0,78	1,09	2208,99	4,40
29	Coimbra Geofísico	1433	0,76	1,07	2156,32	4,29
30	Montemor-o-Velho	1446	0,76	1,08	2175,89	4,33
31	Fundão	1776	0,94	1,32	2672,46	5,32
32	Zebreira	1507	0,80	1,12	2267,68	4,52
33	Castelo Branco	1532	0,81	1,14	2305,29	4,59
34	Marinha Grande	1545	0,82	1,15	2324,86	4,63
35	Alcobaca	1473	0,78	1,10	2216,51	4,41
36	Tancos Base Aerea	1478	0,78	1,10	2224,04	4,43
37	Alvega	1548	0,82	1,15	2329,37	4,64
38	Marvão	2085	1,10	1,55	3137,43	6,25
39	Cabo Carvoeiro	1109	0,59	0,83	1668,78	3,32
40	Rio Maior	1473	0,78	1,10	2216,51	4,41
41	Portalegre	1683	0,89	1,25	2532,51	5,04
42	Santarem	1368	0,72	1,02	2058,51	4,10
43	Fonte Boa	1271	0,67	0,95	1912,55	3,81
44	Qta Base Aerea	1236	0,65	0,92	1859,89	3,70
45	Benavita	1258	0,66	0,94	1892,99	3,77
46	Dois Portos	1216	0,64	0,90	1829,79	3,64
47	Salvaterra de Magos	1392	0,73	1,04	2094,63	4,17
48	Mora	1373	0,72	1,02	2066,04	4,11
49	Elvas	1320	0,70	0,98	1986,29	3,96
50	Sintra Granja	1314	0,69	0,98	1977,26	3,94
51	Cabo da Roca	1082	0,57	0,80	1628,15	3,24
52	Lisboa Portela	1276	0,67	0,95	1920,08	3,82
53	Lisboa Geofísico	1029	0,54	0,77	1548,40	3,08
54	Pegões	1343	0,71	1,00	2020,89	4,02
55	Evora	1431	0,76	1,06	2153,31	4,29
56	Setúbal	1288	0,68	0,96	1938,13	3,86
57	Evora Currais	1560	0,82	1,16	2347,43	4,67
58	Setúbal Setenave	873	0,46	0,65	1313,66	2,62
59	Sesimbra Maca	1440	0,76	1,07	2166,86	4,31
60	Alcacer do Sal	1283	0,68	0,95	1930,61	3,84
61	Viana do Alentejo	1389	0,73	1,03	2090,11	4,16
62	Amareleja	1528	0,81	1,14	2299,28	4,58
63	Contentos	1422	0,75	1,06	2139,77	4,26
64	Beja	1417	0,75	1,05	2132,25	4,25
65	Sines	980	0,52	0,73	1474,67	2,94
66	Alvalade	1324	0,70	0,99	1992,30	3,97
67	Mertola V. Formoso	1356	0,72	1,01	2040,46	4,06
68	Zambujeira	1212	0,64	0,90	1823,77	3,63
69	Caldas de Monchique	1092	0,58	0,81	1643,20	3,27
70	V. Real ST. Antonio	1090	0,58	0,81	1640,19	3,27
71	Praia da Rocha	1000	0,53	0,74	1504,76	3,00
72	Tavira	1045	0,55	0,78	1572,48	3,13
73	Vila do Bispo	1002	0,53	0,75	1507,77	3,00
74	Faro	1025	0,54	0,76	1542,38	3,07
75	Sagres	776	0,41	0,58	1167,69	2,33
76	Corvo (Corvo)	598	0,32	0,44	899,85	1,79
77	Flores (Flores)	755	0,40	0,56	1136,09	2,26
78	Barro Verm. (Graciosa)	624	0,33	0,46	938,97	1,87
79	A. Heroísmo (Terceira)	794	0,42	0,59	1194,78	2,38
80	Queimada (S. Jorge)	667	0,35	0,50	1003,68	2,00
81	Madalena (Pico)	583	0,31	0,43	877,28	1,75
82	Horta (Faial)	602	0,32	0,45	905,87	1,80
83	P. Delgada (S. Miguel)	733	0,39	0,55	1102,99	2,20
84	Santa Maria (S. Maria)	607	0,32	0,45	913,39	1,82
85	Porto Santo (P. Santo)	391	0,21	0,29	588,36	1,17
86	Funchal (S. C. (Madeira)	344	0,18	0,26	517,64	1,03

Tabela 57- Poupanças do CE5 em Portugal

Número de ordem	Local	Graus-Dias	Fator de compensação	CE5		
				Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
1	Montalegre	2785	1,47	2,46	7229,35	9,92
2	Bragança	2405	1,27	2,13	6242,94	8,57
3	Viana do Castelo	1468	0,79	1,32	3862,57	5,30
4	Chaves	2178	1,15	1,93	5653,69	7,76
5	Braga	1684	0,89	1,49	4371,35	6,00
6	Pedras Salgadas	2178	1,15	1,93	5653,69	7,76
7	Mirandela	2011	1,06	1,78	5220,19	7,16
8	Miranda do Douro	2425	1,28	2,14	6294,85	8,64
9	Santo Tirso	1566	0,83	1,38	4065,05	5,58
10	Vila Real	2112	1,12	1,87	5482,36	7,52
11	Paços de Ferreira	1757	0,93	1,55	4560,85	6,26
12	Porto P. Rubras	1539	0,81	1,36	3994,96	5,48
13	Regua	1585	0,84	1,40	4114,37	5,65
14	Pinhão S. Barbara	1581	0,83	1,40	4103,98	5,63
15	Porto S. do Pilar	1529	0,81	1,35	3969,00	5,45
16	Bigorne	2276	1,20	2,01	5908,08	8,11
17	Figueira C. Rodrigo	2343	1,24	2,07	6082,00	8,35
18	Serra da Muna	1982	1,05	1,75	5144,91	7,06
19	Viseu	1894	1,00	1,68	4916,48	6,75
20	S. Jacinto B. Aerea	1295	0,68	1,15	3361,58	4,61
21	Caramulo	1928	1,02	1,71	5004,73	6,87
22	Guarda	2091	1,10	1,85	5427,85	7,45
23	Dunas de Mira	1570	0,83	1,39	4075,43	5,59
24	Anadia	1496	0,79	1,32	3863,34	5,33
25	Penhas Douradas	3034	1,60	2,68	7875,70	10,81
26	Lagoa Comprida	2965	1,57	2,62	7696,59	10,56
27	Penhas da Saúde	2973	1,57	2,63	7717,36	10,59
28	Coimbra/Bencanta	1468	0,78	1,30	3810,66	5,23
29	Coimbra/Geofísico	1433	0,76	1,27	3719,80	5,10
30	Montemor-o-Velho	1446	0,76	1,28	3753,55	5,15
31	Fundão	1776	0,94	1,57	4610,17	6,33
32	Zebreira	1507	0,80	1,33	3911,89	5,37
33	Castelo Branco	1532	0,81	1,35	3976,79	5,46
34	Marinha Grande	1545	0,82	1,37	4010,54	5,50
35	Alcobaça	1473	0,78	1,30	3823,64	5,25
36	Tancos/Base Aerea	1478	0,78	1,31	3836,62	5,26
37	Alvega	1548	0,82	1,37	4018,32	5,51
38	Marvão	2085	1,10	1,84	5412,28	7,43
39	Cabo Carvoeiro	1109	0,59	0,98	2878,76	3,95
40	Rio Maior	1473	0,78	1,30	3823,64	5,25
41	Portalegre	1683	0,89	1,49	4368,76	5,99
42	Santarem	1368	0,72	1,21	3551,08	4,87
43	Fonte Boa	1271	0,67	1,12	3299,28	4,53
44	Ota/Base Aerea	1236	0,65	1,09	3208,43	4,40
45	Benavita	1258	0,66	1,11	3265,54	4,48
46	Dois Portos	1216	0,64	1,08	3156,51	4,33
47	Salvaterra de Magos	1392	0,73	1,23	3613,38	4,96
48	Mora	1373	0,72	1,21	3564,06	4,89
49	Elvas	1320	0,70	1,17	3426,48	4,70
50	Sintra/Granja	1314	0,69	1,16	3410,90	4,68
51	Cabo da Roca	1082	0,57	0,96	2808,67	3,85
52	Lisboa/Portela	1276	0,67	1,13	3312,26	4,54
53	Lisboa/Geofísico	1029	0,54	0,91	2671,09	3,67
54	Pegões	1343	0,71	1,19	3486,18	4,78
55	Evora	1431	0,76	1,27	3714,61	5,10
56	Setúbal	1288	0,68	1,14	3343,41	4,59
57	Evora/Ourais	1560	0,82	1,38	4049,47	5,56
58	Setúbal/Setenave	873	0,46	0,77	2266,15	3,11
59	Sesimbra/Maca	1440	0,76	1,27	3737,97	5,13
60	Alcacer do Sal	1283	0,68	1,13	3330,43	4,57
61	Viana do Alentejo	1389	0,73	1,23	3605,59	4,95
62	Amareleja	1528	0,81	1,35	3966,41	5,44
63	Contento	1422	0,75	1,26	3691,25	5,06
64	Beja	1417	0,75	1,25	3678,27	5,05
65	Sines	980	0,52	0,87	2543,90	3,49
66	Alvalade	1324	0,70	1,17	3436,86	4,72
67	Mértola/V. Formoso	1356	0,72	1,20	3519,93	4,83
68	Zambujeira	1212	0,64	1,07	3146,13	4,32
69	Caldas de Monchique	1092	0,58	0,97	2834,63	3,89
70	V. Real ST. Antonio	1090	0,58	0,96	2829,44	3,88
71	Praia da Rocha	1000	0,53	0,88	2595,82	3,56
72	Tavira	1045	0,55	0,92	2712,63	3,72
73	Vila do Bispo	1002	0,53	0,89	2601,01	3,57
74	Faro	1025	0,54	0,91	2660,71	3,65
75	Sagres	776	0,41	0,69	2014,35	2,76
76	Corvo (Corvo)	598	0,32	0,53	1552,30	2,13
77	Flores (Flores)	755	0,40	0,67	1959,84	2,69
78	Barro Verm. (Graciosa)	624	0,33	0,55	1619,79	2,22
79	A. Heroísmo (Terceira)	794	0,42	0,70	2061,08	2,83
80	Queimada (S. Jorge)	667	0,35	0,59	1731,41	2,38
81	Madalena (Pico)	583	0,31	0,52	1513,36	2,08
82	Horta (Faial)	602	0,32	0,53	1562,68	2,14
83	P. Delgada (S. Miguel)	733	0,39	0,65	1902,73	2,61
84	Santa Maria (S. Maria)	607	0,32	0,54	1575,66	2,16
85	Porto Santo (P. Santo)	391	0,21	0,35	1014,96	1,39
86	Funchal/S.C. (Madeira)	344	0,18	0,30	892,96	1,23

Tabela 58- Poupanças do CE6 em Portugal

Número de ordem	Local	Graus-Dias	Fator de compensação	CE6		
				Poupança energética (tep)	Poupança financeira (€)	Poupança ambiental (ton CO <sub>2</sub> )
1	Montalegre	2785	1,47	1,03	3315,61	4,15
2	Bragança	2405	1,27	0,89	2863,21	3,58
3	Viana do castelo	1488	0,79	0,55	1771,50	2,21
4	Chaves	2178	1,15	0,80	2592,96	3,24
5	Braga	1684	0,89	0,62	2004,84	2,51
6	Pedras Salgadas	2178	1,15	0,80	2592,96	3,24
7	Mirandela	2011	1,06	0,74	2394,14	2,99
8	Miranda do douro	2425	1,28	0,90	2887,02	3,61
9	Santo Tirso	1566	0,83	0,58	1864,36	2,33
10	Vila Real	2112	1,12	0,78	2514,38	3,14
11	Paços de Ferreira	1757	0,93	0,65	2091,75	2,62
12	Porto P. Rubras	1539	0,81	0,57	1832,21	2,29
13	Regua	1585	0,84	0,59	1886,98	2,36
14	Pinhad. S. Barbara	1581	0,83	0,58	1882,22	2,35
15	Porto S. do Pilar	1529	0,81	0,57	1820,31	2,28
16	Bigorne	2276	1,20	0,84	2709,63	3,39
17	Figueira C. Rodrigo	2343	1,24	0,87	2789,39	3,49
18	Serra da Muna	1982	1,05	0,73	2359,62	2,95
19	Viseu	1894	1,00	0,70	2254,85	2,82
20	S. Jacinto B. Aerea	1295	0,68	0,48	1541,73	1,93
21	Caramulo	1928	1,02	0,71	2295,33	2,87
22	Guarda	2091	1,10	0,77	2489,38	3,11
23	Dunas de Mira	1570	0,83	0,58	1869,12	2,34
24	Anadia	1496	0,79	0,55	1781,02	2,23
25	Penhas Douradas	3034	1,60	1,12	3612,05	4,52
26	Lagoa Comprida	2965	1,57	1,10	3529,90	4,41
27	Penhas da Saude	2973	1,57	1,10	3539,42	4,43
28	Coimbra/Bencanta	1468	0,78	0,54	1747,69	2,19
29	Coimbra/Geofísico	1433	0,76	0,53	1706,02	2,13
30	Montemor-o-Velho	1446	0,76	0,53	1721,50	2,15
31	Fundao	1776	0,94	0,66	2114,37	2,64
32	Zebreira	1507	0,80	0,56	1794,12	2,24
33	Castelo Branco	1532	0,81	0,57	1823,88	2,28
34	Marinha Grande	1545	0,82	0,57	1839,36	2,30
35	Alcobaca	1473	0,78	0,54	1753,64	2,19
36	Tancos/ Base Aerea	1478	0,78	0,55	1759,59	2,20
37	Alvega	1548	0,82	0,57	1842,93	2,30
38	Marvão	2085	1,10	0,77	2482,24	3,10
39	Cabo Carvoeiro	1109	0,59	0,41	1320,29	1,65
40	Rio Maior	1473	0,78	0,54	1753,64	2,19
41	Portalegre	1683	0,89	0,62	2003,65	2,51
42	Santarem	1368	0,72	0,51	1628,64	2,04
43	Fonte Boa	1271	0,67	0,47	1513,15	1,89
44	Olta/ Base Aerea	1236	0,65	0,46	1471,49	1,84
45	Benavita	1258	0,66	0,46	1497,68	1,87
46	Dois Portos	1216	0,64	0,45	1447,68	1,81
47	Salvaterra de Magos	1392	0,73	0,51	1657,21	2,07
48	Mora	1373	0,72	0,51	1634,59	2,04
49	Elvas	1320	0,70	0,49	1571,49	1,96
50	Sintra/ Granja	1314	0,69	0,49	1564,35	1,96
51	Cabo da Roca	1082	0,57	0,40	1288,15	1,61
52	Lisboa/ Portela	1276	0,67	0,47	1519,11	1,90
53	Lisboa/ Geofísico	1029	0,54	0,38	1225,05	1,53
54	Pegões	1343	0,71	0,50	1598,87	2,00
55	Evora	1431	0,76	0,53	1703,64	2,13
56	Setubal	1288	0,68	0,48	1533,39	1,92
57	Evora/ Currais	1560	0,82	0,58	1857,22	2,32
58	Setubal/ Setenave	873	0,46	0,32	1039,33	1,30
59	Sesimbra/ Maca	1440	0,76	0,53	1714,35	2,14
60	Alcacer do Sal	1283	0,68	0,47	1527,44	1,91
61	Viana do Alentejo	1389	0,73	0,51	1653,64	2,07
62	Amareleja	1528	0,81	0,56	1819,12	2,27
63	Contento	1422	0,75	0,53	1632,92	2,12
64	Beja	1417	0,75	0,52	1686,97	2,11
65	Sines	980	0,52	0,36	1166,71	1,46
66	Alvalade	1324	0,70	0,49	1576,25	1,97
67	Mertola/ V. Formoso	1356	0,72	0,50	1614,35	2,02
68	Zambujeira	1212	0,64	0,45	1442,91	1,80
69	Caldas de Monchique	1092	0,58	0,40	1300,05	1,63
70	V. Real ST. Antonio	1090	0,58	0,40	1297,67	1,62
71	Praia da Rocha	1000	0,53	0,37	1190,52	1,49
72	Tavira	1045	0,55	0,39	1244,10	1,56
73	Vila do Bispo	1002	0,53	0,37	1192,90	1,49
74	Faro	1025	0,54	0,38	1220,29	1,53
75	Sagres	776	0,41	0,29	923,85	1,16
76	Corvo (Corvo)	598	0,32	0,22	711,93	0,89
77	Flores (Flores)	755	0,40	0,28	898,84	1,12
78	Barro Verm. (Graciosa)	624	0,33	0,23	742,89	0,93
79	A. Heroismo (Terceira)	794	0,42	0,29	945,28	1,18
80	Queimada (S. Jorge)	667	0,35	0,25	794,08	0,99
81	Madalena (Pico)	583	0,31	0,22	694,07	0,87
82	Horta (Faial)	602	0,32	0,22	716,69	0,90
83	P. Delgada (S. Miguel)	733	0,39	0,27	872,65	1,09
84	Santa Maria (S. Maria)	607	0,32	0,22	722,65	0,90
85	Porto Santo (P. Santo)	391	0,21	0,14	465,49	0,58
86	Funchal/ S.C. (Madeira)	344	0,18	0,13	409,54	0,51

### *5.3 Conclusão do capítulo 5*

Conclui-se que com estas melhorias, existe uma diminuição no consumo de energia e com isso uma poupança financeira que e ajuda também a uma diminuição da pegada ecológica. Comprovou-se que os 6 tipos de edifícios foram suficientes para avaliar a viabilidade do parque escolar e ainda extrapolar para todo o país. Sabendo o número de escolas do país que pertencem a estes 6 tipos, consegue-se fazer uma análise energética e ver os distritos onde investir. Apesar de se obter poupanças será sempre melhor estudar-se novamente, pois características climáticas diferentes, podem requerer outras melhorias adaptadas (reavaliar todo o processo).

## *6. Conclusão e Trabalho futuro*

## *6.1 Síntese do trabalho realizado*

Em síntese este trabalho, teve uma parte exaustiva de tratamento de dados para formar uma base de dados possível, para se poder comparar as mesmas características de todos os tipos de escolas, desde documentos em papel antigos até plantas desenhadas em *software* no computador. A partir desta fase, delinearam-se características que seriam o método de separação e daí criaram-se os 6 tipos de escolas. Simulando as mesmas, conseguiu-se observar todos os ganhos e perdas energéticos e desse modo saber aonde é preciso melhorar, por exemplo as paredes apresentam grandes perdas e com isolamento pode-se reduzir esse fato. Os resultados foram os esperados: uma redução nos consumos energéticos, na pegada ecológica e uma poupança financeira para os 6 tipos. Extrapolaram-se, ainda, os resultados para todas as cidades do país, onde se obtém a poupança e a redução multiplicando por um fator, que varia de cidade para cidade. Estas medidas visam influenciar quanto à necessidade de se melhorar a eficiência energética dos edifícios escolares não só em Viseu, mas em todo o país.

## *6.2 Principais Conclusões*

As principais conclusões deste estudo encontram-se sumariadas nos seguintes tópicos:

- Melhorias significativas no consumo do parque escolar com uma redução de 16,22 % na fatura energética e de 1,28 % na fatura energética do Município.
- Anualmente uma poupança energética de 64,7 tep, financeira de 148.353,9 € e ambiental de 217,7 ton CO<sub>2</sub> e no fim de 25 anos ter uma TIR de 23 %, um VAL de 2.561.487,96 €, uma poupança energética de 1.617,5 tep e uma poupança ambiental de 5.442,5 ton de CO<sub>2</sub>;
- Com o retorno financeiro irá ser aproveitado para investir em melhorias de eficiência energética noutros edifícios municipais, como museus, complexos desportivos, entre outros;
- Extrapolação do Município de Viseu para o país todo;

- Lançamento de um concurso, para incentivar a melhoria no comportamento das pessoas, onde será promovida a eficiência energética na comunidade (não só escolar, mas também social);
- A possibilidade de um contrato de *performance* de energia com a Galp, em que o Município de Viseu aceita comprometer-se a desenvolver as medidas de eficiência energética e a dar uma percentagem do retorno financeiro à Galp, enquanto a Galp financia essas medidas.

### 6.3 *Propostas de trabalho futuro*

O trabalho futuro passará por implementar as medidas desenvolvidas nos 6 tipos de edifícios e avaliar na realidade o seu comportamento. Com base nessa avaliação, serão identificadas possíveis correções ou extrapolações para as outras escolas do parque escolar. Mais tarde, com o retorno financeiro adquirido, será realizado um concurso com duas entidades, o Município de Viseu e a Galp, em que  $(100-X) \%$  desse retorno deverá ser para ambas as entidades, e  $X\%$  para tratar da logística e promoção do concurso. O financiamento seria para os prémios, palestras, eventos, promoção (panfletos, redes sociais, televisão), etc. Este concurso será para diminuir os consumos energéticos e assim poupar dinheiro, mas acima de tudo procura ser um método de transferência de conhecimento para as crianças.

A Câmara para além de poupar financeira e ambientalmente, vai garantir educação para as suas crianças e ao seu povo através de promoção de medidas para melhorar a eficiência energética das suas escolas e casas (eficiência energética na comunidade). E com isso a cidade irá poupar energia e irá ser reconhecida como uma “cidade verde”. Iria ser pioneira neste tipo de trabalho através de uma parceria com a Galp.

A Galp com este estudo podia estudar o parque escolar de Portugal e avaliar onde seria interessante implementar condutas de gás natural, pois isso traria melhorias ambientais para o país e a própria Galp ganharia ainda mais prestígio como “empresa verde”. Além disso, teria a possibilidade de assinar um contrato de *performance* de energia, onde fornecia o Município de energia e o Município assegurava um compromisso de melhoria de eficiência [45]. Este concurso, que deverá servir de exemplo em Viseu, poderá ser estendido a outros Municípios.

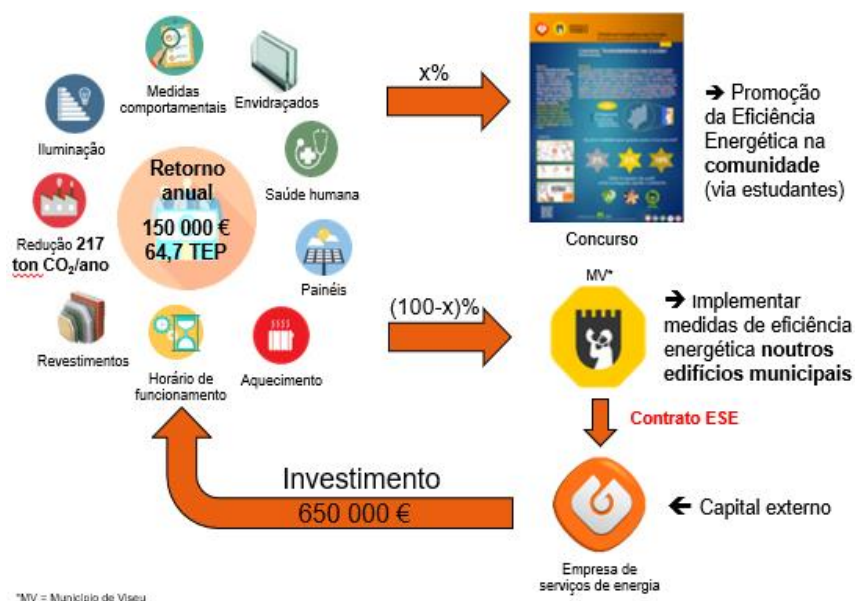


Figura 50- Quadro resumo da proposta de negócio

A Figura 50 resume todo o processo, isto é, a Galp será o investidor total com capital externo (poderá ser combatido com ajuda das iniciativas Portugal 2020) e com juros baixos para os mesmos, obtendo um retorno financeiro. Esse retorno seria usado para dois acontecimentos: i)  $X\%$  para um concurso nas escolas do Município de Viseu, para promoção de eficiência energética na comunidade (via dos estudantes), onde terão de baixar os consumos com alterações comportamentais; ii)  $(100-X)\%$  vai para o Município para estudar e investir noutros edifícios municipais com medidas de eficiência.



## Referências

- [1] “galp 21,” 20 02 2018. [Online]. Available: <https://www.galp.com/corp/pt/sustentabilidade/os-nossos-compromissos/energia-e-clima/eficiencia-energetica/em-clientes-e-parceiros/galp-21>.
- [2] “taconsulting,” 20 5 2018. [Online]. Available: <https://taconsulting.pt/incentivos-eficiencia-energetica-portugal-2020/>.
- [3] “O FUTURO DO NOSSO CLIMA: O HOMEM E A ATMOSFERA,” IA- Instituto do ambiente, Portugal, 2005.
- [4] KBB, “O que são as normas Euro de controlo de emissões?,” 28 09 2018. [Online]. Available: <https://www.kbb.pt/detalhes-noticia/normas-euro-controlo-emissoes/?ID=1427>. [Acedido em 11 10 2018].
- [5] A. P. d. Ambiente, “Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas,” 2018.
- [6] “Portal Energia,” [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>. [Acedido em 14 03 2018].
- [7] D.-G. d. E. e. Geologia, “Balanços energéticos de Portugal,” 2015.
- [8] B. Saxifrange, “Global Energy Consumption,” 2017.
- [9] Observador, “Observador,” 2018. [Online]. Available: <https://observador.pt/secao/economia/energia/combustivel/>. [Acedido em 30 06 2018].
- [10] “Traject,” 24 11 2017. [Online]. Available: <http://www.traject.com/Dynamische-energiesimulaties>. [Acedido em 01 11 2018].
- [11] “Vilagitas-tervezés,” [Online]. Available: <http://vilagitas-tervezes.hu/kezdolap/dialux-evo-curva-fotometrica-2>. [Acedido em 30 10 2018].
- [12] “lisboaenova,” 1 01 2017. [Online]. Available: <http://lisboaenova.org/wp/escola-eficiente-eficiencia-energetica-da-escola-a-comunidade/>. [Acedido em 24 03 2018].
- [13] Lisboaenova, Um projeto, vários desafios, Lisboa, 2017.
- [14] F. N, “Vidro e o isolamento térmico”.
- [15] M. Vertes, “Influência da cor de paredes externas e do percentual de área de janela na fachada no consumo de energia,” [Online]. Available: <https://blogvertes.wordpress.com/tag/percentual-de-area-de-janela-na-fachada/>. [Acedido em 13 04 2018].
- [16] D. Almas, “Observador,” 25 09 2017. [Online]. Available: <https://observador.pt/especiais/tarifa-regulada-de-eletricidade-regressa-para-todos-vale-a-pena/>. [Acedido em 05 11 2018].
- [17] “Utilização racional de energia,” em *Economia de Energia*, pp. 45-50.
- [18] “Galp - casa,” 1 07 2017. [Online]. Available: [https://casa.galp.pt/sites/default/files/documents/Tarifario\\_Galp.pdf](https://casa.galp.pt/sites/default/files/documents/Tarifario_Galp.pdf). [Acedido em 18 06 2018].
- [19] “Galp Energia,” [Online]. Available: <http://www.galpenergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Mercado-Regulado/Tarifario/Paginas/Tarifario.aspx?tipoUtilizacao=1&empresa=3&>. [Acedido em 23 09 2018].
- [20] H. Meyer, “Comparativo de consumo de combustíveis,” LusoSol, 2014.
- [21] D. M. A. Santos, “Caracterização e Otimização Energética de uma Unidade Fabril do Setor Automóvel,” Lisboa, 2017.
- [22] “Ecocasa,” [Online]. Available: [https://www.ecocasa.pt/energia\\_content.php?id=12](https://www.ecocasa.pt/energia_content.php?id=12). [Acedido em 17 05 2018].
- [23] T. S. Técnicos, “Qual o melhor sistema de Aquecimento Central para a minha casa,” Thermowatt service, 2016.
- [24] “Enerpor,” [Online]. Available: <http://www.enerpor.pt/pt/Simulador>. [Acedido em 16 05 2018].
- [25] D. Almas, “Observador,” 25 09 2017. [Online]. Available: <https://observador.pt/especiais/tarifa-regulada-de-eletricidade-regressa-para-todos-vale-a-pena/>. [Acedido em 28 05 2018].
- [26] “ERSE,” 1 01 2017. [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/precosdeelectricidade/Paginas/default.aspx>. [Acedido em 19 05 2018].

- [27] “Aecweb,” [Online]. Available: [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/como-projetar-a-iluminacao-de-salas-de-aula\\_15468\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/como-projetar-a-iluminacao-de-salas-de-aula_15468_10_0). [Acedido em 30 05 2018].
- [28] “Getalamp,” [Online]. Available: <https://www.getalamp.pt/>. [Acedido em 12 06 2018].
- [29] “Economias,” 21 02 2017. [Online]. Available: <https://www.economias.pt/painel-solar-fotovoltaico-termico/>. [Acedido em 30 06 2018].
- [30] “Portal-Energia,” 11 06 2017. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/deve-saber-autoconsumo-paineis-solares-fotovoltaicos/>. [Acedido em 30 06 2018].
- [31] “Apesf,” 08 05 2015. [Online]. Available: [https://www.apesf.pt/images/apesf/pdf/Regime\\_Juridico\\_Autoconsumo.pdf](https://www.apesf.pt/images/apesf/pdf/Regime_Juridico_Autoconsumo.pdf). [Acedido em 09 07 2018].
- [32] “EnergiaSolar,” 11 01 2012. [Online]. Available: <https://energiasolare.blogs.sapo.pt/80383.html>. [Acedido em 1 07 2018].
- [33] Adene, “Guia de Eficiência Energética,” ADENE- Agência para a Energia, 2013.
- [34] “PVC janelas,” 2018. [Online]. Available: [http://www.pvc-janelas.com/index.php?p=index&id\\_area=4&subarea\\_id=28](http://www.pvc-janelas.com/index.php?p=index&id_area=4&subarea_id=28). [Acedido em 20 06 2018].
- [35] D. Mateus, “Acústica de edificios e controlo de ruído,” 2008.
- [36] “Gerador de Preços,” CYPE Ingenieros, S.A., [Online]. Available: <http://www.geradordeprecos.info/>. [Acedido em 10 07 2018].
- [37] V. G. P. Mendes, “Quantificação do coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados,” porto, 2011.
- [38] D. Coelho, “Estudo de eficiência energética 8, 1ºCEB de Massorim,” 2017.
- [39] Adene, “sce,” [Online]. Available: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-01-isol-paredes-1.pdf>. [Acedido em 25 09 2018].
- [40] “Preços de materiais para sistemas ETICS,” [Online]. Available: <https://orcamentos.eu/precos-de-materiais-para-sistemas-etics/>. [Acedido em 10 06 2018].
- [41] D. Financeiro, “Dicionário financeiro,” [Online]. Available: <https://www.dicionariofinanceiro.com/o-que-e-a-tir-e-como-calculer/>. [Acedido em 02 11 2018].
- [42] P. Nunes, “Knoow,” 27 06 2017. [Online]. Available: <http://knoow.net/cienceconempr/gestao/valor-actual-liquido/>. [Acedido em 01 11 2018].
- [43] W. R. Prates, “WR PRATES,” 10 06 2017. [Online]. Available: <https://www.wrprates.com/o-que-e-tma-taxa-minima-de-atratividade/>. [Acedido em 01 11 2018].
- [44] M. R. G. C. A. P. d. S. J. A. V. d. P. J. Casimiro Mendes, “Temperaturas exteriores de projeto e número de graus-dia,” Lisboa, 1995.
- [45] RNAE, Contratos de performance de energia (CPE), Edição Técnica e Design Gráfico, 2014.

## Anexos

### Anexo I – Relatórios de campo



#### Relatório de visitas

Data: 22/8/ 2018

Local: Viseu

Escola: CEB São Miguel

Estilo: Plano de Centenários

Caso de estudo: 1

Horário de funcionamento: 8h30 - 19h

Horário escolar: 9h - 17h30

Nº de pisos: 2

Nº de salas: 6

Nº de alunos: 108



#### -----Aquecimento-----

Tipo de aquecimento: Gasóleo ☐ Gás Natural ☒ Lenha ☐

Horário de trabalho do aquecimento: 7h - 16h

Potência de aquecimento: depende da zona

Temperatura de aquecimento: 60 °C.

Consumos: 3993,44 €

Nº de radiadores por sala: 2 Nº de radiadores nos corredores: 2 Total: 17

Nº de radiadores por escadas: 2

Distribuição das salas:

Inserir:

- Janelas
- Radiadores
- Quadro
- Lâmpadas
- Outros relevantes



Alpendre: Aberto ☐ Fechado ☒

Painéis solares: SIM ☐ Não ☒ Se sim, quantos \_\_\_\_\_ Potência \_\_\_\_\_

-----Envidraçados-----

Tipo de envidraçado: Simplex

Espessura do envidraçado: 4 mm

Tipo de caixilho: alumínio

Orientação: Este

Sombreamento de árvores: Frente sim Traseira não

Sombreamento nas janelas: Frente sim Traseira sim

Tipo de sombreamentos nas janelas: tecido

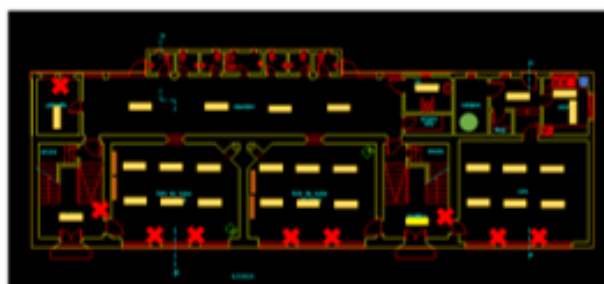
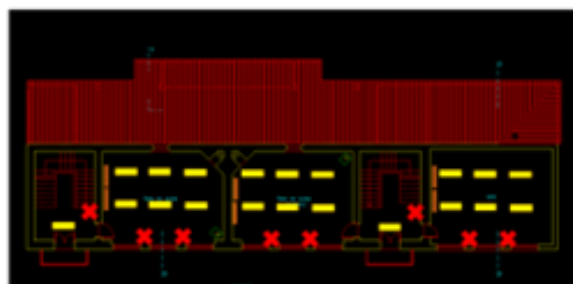
Janelas nos alpendres: SIM ☒ NÃO ☐

-----Iluminação-----

Tipos de lâmpadas: 1,5m (58W)

Potência das lâmpadas: 58W + 20% (ferro magnético)

Nº de lâmpadas: Por sala são 12, duas em cada candeeiro, contamos com 6 candeeiros



## Relatório de visitas

Data: 22/8/2018

Local: Viseu

Escola: CEB Torredeita

Estilo: Plano de Centenários

Caso de estudo: 2

Horário de funcionamento: 8h30 - 19h

Horário escolar: 9h - 17h30

Nº de pisos:  Nº de salas:  Nº de alunos:



### -----Aquecimento-----

Tipo de aquecimento: Gasóleo ☒ Gás Natural ☐ Lenha ☐

Horário de trabalho do aquecimento: 7h - 16h

Potência de aquecimento: depende da zona

Temperatura de aquecimento: 60 °C.





Consumos: 2597,76 €

Nº de radiadores por sala:  Nº de radiadores nos corredores:  Total:

Nº de radiadores por escadas:

Distribuição das salas:

Inserir:

- Janelas 
- Radiadores 
- Quadro 
- Lâmpadas 
- Outros relevantes 



Alpendre: Aberto ☐ Fechado ☒

Painéis solares: SIM ☐ Não ☒ Se sim, quantos \_\_\_\_\_ Potência \_\_\_\_\_

-----Envidraçados-----

Tipo de envidraçado: Simplex+ Duplo(salas)

Espessura do envidraçado: 4 mm + 6 mm (duplo)

Tipo de caixilho: alumínio

Orientação: depende

Sombreamento de árvores: Frente não Traseira não

Sombreamento nas janelas: Frente sim Traseira sim

Tipo de sombreamentos nas janelas: tecido

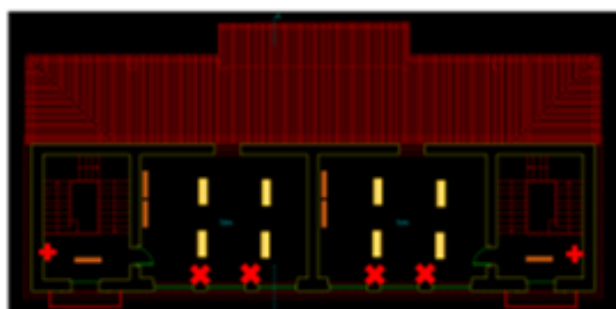
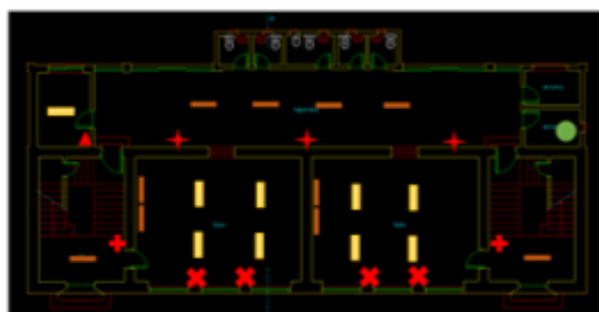
Janelas nos alpendres: SIM ☒ NÃO ☐

-----Iluminação-----

Tipos de lâmpadas: 1,5m → 58W com ferro magnético

Potência das lâmpadas: 58W + 20% (ferro magnético)

Nº de lâmpadas: Por sala são 8, duas em cada candeeiro, contamos com 4 candeeiros



## Relatório de visitas

Data: 22/8/2018

Local: Viseu

Escola: CEB Torredeita

Estilo: Plano de Centenários

Caso de estudo: 3

Horário de funcionamento: 8h30 - 18h30

Horário escolar: 9h - 17h30

Nº de pisos:

Nº de salas:

Nº de alunos:



### -----Aquecimento-----

Tipo de aquecimento: Gasóleo ☒ Gás Natural ☐ Lenha ☐

Horário de trabalho do aquecimento: 7h - 16h

Potência de aquecimento: depende da zona

Temperatura de aquecimento: 60 °C.

Consumos: 1780,06 €

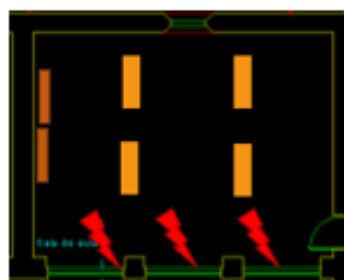
Nº de radiadores por sala:  Nº de radiadores nos corredores:  Total:

Nº de radiadores por escadas:

Distribuição das salas:

Inserir:

- Janelas 
- Radiadores 
- Quadro 
- Lâmpadas 
- Outros relevantes 



Alpendre: Aberto ☐ Fechado ☒

Painéis solares: SIM ☐ Não ☒ Se sim, quantos \_\_\_\_\_ Potência \_\_\_\_\_

-----Envidraçados-----

Tipo de envidraçado: Simplex

Espessura do envidraçado: 4 mm

Tipo de caixilho: alumínio

Orientação: Sudeste

Sombreamento de árvores: Frente não Traseira não

Sombreamento nas janelas: Frente sim Traseira sim

Tipo de sombreamentos nas janelas: tecido

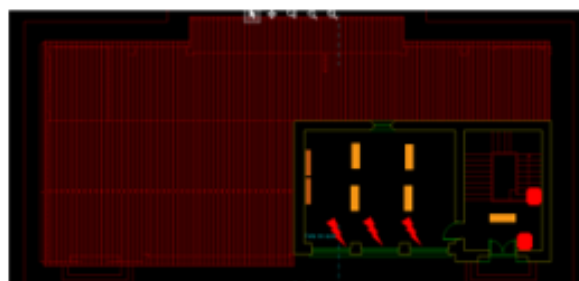
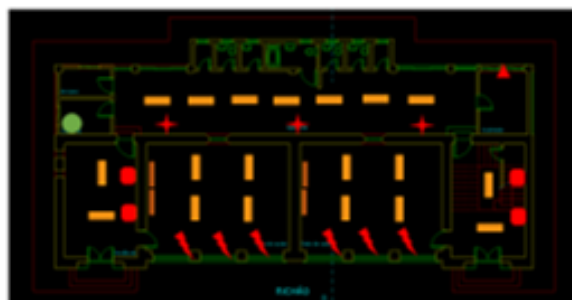
Janelas nos alpendres: SIM ☒ NÃO ☐

-----Iluminação-----

Tipos de lâmpadas: 1,2m → 36W com ferro magnético

Potência das lâmpadas: 36W + 20% (ferro magnético)

Nº de lâmpadas: Por sala são 8, duas em cada candeeiro, contamos com 4 candeeiros





## Relatório de visitas

Data: 22/8/2018

Local: Viseu

Escola: CEB Cavernães

Estilo: Plano de Centenários

Caso de estudo: 4

Horário de funcionamento: 8h30 - 18h30

Horário escolar: 9h - 17h30

Nº de pisos:  Nº de salas:  Nº de alunos:



### -----Aquecimento-----

Tipo de aquecimento: Gasóleo ☒ Gás Natural ☐ Lenha ☐

Horário de trabalho do aquecimento: 7h - 16h

Potência de aquecimento: depende da zona

Temperatura de aquecimento: 60 °C.

Consumos: 2485,65 €

Nº de radiadores por sala:  Nº de radiadores nos corredores:  Total:

Nº de radiadores por escadas:

Distribuição das salas:

Inserir:

- Janelas 
- Radiadores 
- Quadro 
- Lâmpadas 
- Outros relevantes 



Alpendre: Aberto ☐ Fechado ☒

Painéis solares: SIM ☐ Não ☒ Se sim, quantos \_\_\_\_\_ Potência \_\_\_\_\_

-----Envidraçados-----

Tipo de envidraçado: Simplex + Duplos (na sala nova)

Espessura do envidraçado: 4 mm + 6 mm (duplo)

Tipo de caixilho: alumínio

Orientação: Sudoeste

Sombreamento de árvores: Frente sim Traseira não

Sombreamento nas janelas: Frente sim Traseira sim

Tipo de sombreamentos nas janelas: tecido

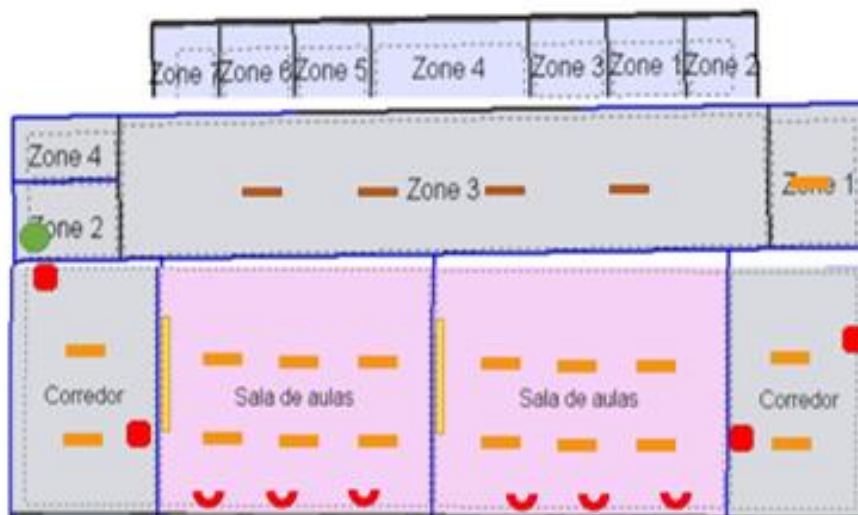
Janelas nos alpendres: SIM ☒ NÃO ☐

-----Iluminação-----

Tipos de lâmpadas: 1,5m (58W) + 1,2m (36W)

Potência das lâmpadas: 58W + 36W

Nº de lâmpadas: Por sala são 12, duas em cada candeeiro, contamos com 6 candeeiros.



## Relatório de visitas

Data: 22/8/2018

Local: Viseu

Escola: CEB Gumirães

Estilo: Raul Lino

Caso de estudo: 5

Horário de funcionamento: 8h30 - 18h30

Horário escolar: 9h - 17h30

Nº de pisos:  Nº de salas:  Nº de alunos:



### -----Aquecimento-----

Tipo de aquecimento: Gasóleo ☐ Gás Natural ☒ Lenha ☐

Horário de trabalho do aquecimento: 7h - 16h

Potência de aquecimento: depende da zona

Temperatura de aquecimento: 60 °C.

Consumos: 4177,43 €

Nº de radiadores por sala:  Nº de radiadores nos corredores:  Total:

Nº de radiadores por escadas:

Distribuição das salas:

Inserir:

- Janelas 
- Radiadores 
- Quadro 
- Lâmpadas 
- Outros relevantes 



Alpendre: Aberto ☐ Fechado ☒

Painéis solares: SIM ☐ Não ☒ Se sim, quantos \_\_\_\_\_ Potência \_\_\_\_\_

-----Envidraçados-----

Tipo de envidraçado: Simplex + Duplos (salas)

Espessura do envidraçado: 4 mm + 6 mm

Tipo de cabidho: alumínio

Orientação: Oeste

Sombreamento de árvores: Frente sim Traseira não

Sombreamento nas janelas: Frente sim Traseira sim

Tipo de sombreamentos nas janelas: tecido

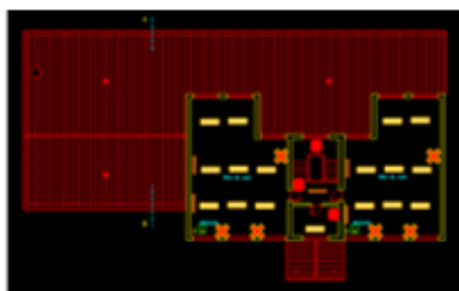
Janelas nos alpendres: SIM ☒ NÃO ☐

-----Iluminação-----

Tipos de lâmpadas: 1,5m (58W) + 1,2m (36W)

Potência das lâmpadas: (58W + 36W) + 20% (ferro magnético)

Nº de lâmpadas: Por sala são 16, duas em cada candeeiro, contamos com 8 candeeiros, mas onde 2, só funcionam no intervalo.



## Relatório de visitas

Data: 22/8/2018

Local: Viseu

Escola: CEB Passos de Silgueiros

Estilo: Raul Lino

Caso de estudo: 6

Horário de funcionamento: 8h30 - 18h30

Horário escolar: 9h - 17h30

Nº de pisos:  Nº de salas:  Nº de alunos:



### -----Aquecimento-----

Tipo de aquecimento: Gasóleo ☒ Gás Natural ☐ Lenha ☐

Horário de trabalho do aquecimento: 7h - 16h

Potência de aquecimento: depende da zona

Temperatura de aquecimento: 60 °C.

Consumos: 885,6 €

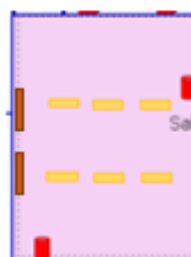
Nº de radiadores por sala:  Nº de radiadores nos corredores:  Total:

Nº de radiadores por escadas:

Distribuição das salas:

Inserir:

- Janelas 
- Radiadores 
- Quadro 
- Lâmpadas 
- Outros relevantes 



Alpendre: Aberto ☐ Fechado ☒

Painéis solares: SIM ☐ Não ☒ Se sim, quantos \_\_\_\_\_ Potência \_\_\_\_\_

-----Envidraçados-----

Tipo de envidraçado: Simplex

Espessura do envidraçado: 4 mm

Tipo de caixilho: alumínio

Orientação: Sul

Sombreamento de árvores: Frente não Traseira não

Sombreamento nas janelas: Frente sim Traseira sim

Tipo de sombreamento nas janelas: tecido

Janelas nos alpendres: SIM ☒ NÃO ☐

-----Iluminação-----

Tipos de lâmpadas: 1,5m (58W)











Potência das lâmpadas: 58W + 20% (ferro magnético)

Nº de lâmpadas: Por sala são 12, duas em cada candeeiro, contamos com 6 candeeiros



Legenda:

Aquecimento

 Radiador com 20 barras (Potência 2 kW)	 Radiador com 17 barras (Potência 1,7 kW)
 Radiador com 16 barras (Potência 1,6 kW)	 Radiador com 15 barras (Potência 1,5 kW)
 Radiador com 14 barras (Potência 1,4 kW)	 Radiador com 14 barras (Potência 1,3 kW)
 Radiador com 12 barras (Potência 1,2 kW)	 Radiador com 11 barras (Potência 1,1 kW)
 Radiador com 9 barras (Potência 0,9 kW)	 Radiador com 7 barras (Potência 0,7 kW)

Iluminação

 2X Lâmpada Fluorescente T8 58 W	 Lâmpada Fluorescente T8 58 W
 2X Lâmpada Fluorescente T8 36 W	 Lâmpada Fluorescente T8 36 W

AQS

 Caldeira	 Termoacumulador
--	---

## Anexo II - Lâmpadas atuais

Informação Técnica			
Fabricante	Ledvance (Osram)	Nome de Produto	LEDVANCE Osram L 36W/840 G13 T8   Lumilux
Código EOC / EAN	4050300517872	Potência (W)	36
Casquilho	G13	Regulável	Sim
Fluxo Lum (Lm)	3350	Código de Cor	840
Temperatura de Cor (K)	4000K (Branco Frio)	Índice de Reprodução de Cores (Ra)	80-89
Garantia	3 Anos	Dimensões Prod. Comprimento (mm)	1200 mm
Diâmetro	26 mm	Classe Energética	A

Figura 51- Lâmpada atual de 20W

Informação Técnica			
Fabricante ⓘ	Philips	Nome de Produto	PHILIPS MASTER TL-D Super 80 58W/840
Código EOC / EAN	8711500632197	Potência (W) ⓘ	58
Casquilho ⓘ	G13	Lâmpada forma	T8 [26 mm]
Regulável ⓘ	Sim	Fluxo Lum (Lm)	5240 Lm
Código de Cor ⓘ	840	Temperatura de Cor (K) ⓘ	4000K (Branco Frio)
Índice de Reprodução de Cores (Ra) ⓘ	80-89	Vida média s/fabricante (h)	15000 hr
Dimensões Prod. Comprimento (mm)	1514.2 mm	Classe Energética ⓘ	A
Conteúdo de mercúrio (Hg)	2.0 mg		

Figura 52- Lâmpada atual T8 58W

Informação Técnica			
Fabricante ⓘ	Ledvance (Osram)	Nome de Produto	LEDVANCE Osram HAL CL A 20W 230V E27 2700K
Código EOC / EAN	4008321927163	Potência (W) ⓘ	20
Potência equivalente (W) ⓘ	25	Casquilho ⓘ	E27
Lâmpada forma	A55	Tensão de rede (V) ⓘ	230
Regulável ⓘ	Sim	Fluxo Lum (Lm)	235 lm
Temperatura de Cor (K) ⓘ	2700K (Branco muito quente)	Índice de Reprodução de Cores (Ra) ⓘ	100
Vida média s/fabricante (h)	2000 h	Dimensões Prod. Comprimento (mm)	94 mm
Diâmetro	55 mm	Classe Energética ⓘ	D
Conteúdo de mercúrio (Hg)	0.0 mg		

Figura 53- Lâmpada atual T8 36W



## Anexo III - Lâmpadas LED

Informação Técnica			
Fabricante	Sylvania	Nome de Produto	Sylvania TOLEDO RT BALL 250lm E27 SL 230-240V 2700K
Código EOC / EAN	5410288272405	Potência (W)	2
Potência equivalente (W)	25	Casquilho	E27
Lâmpada forma	Ball	Tensão de rede (V)	230-240
Fluxo Lum (Lm)	250 lm	Código de Cor	827
Temperatura de Cor (K)	2700K (Branco muito cálido)	Índice de Reprodução de Cores (Ra)	80-89
Garantia	3 Anos	Vida média s/fabricante (h)	15000 h
Tecnologia	LED	Dimensões Prod. Comprimento (mm)	84 mm
Diâmetro	45 mm	Classe Energética	A++

Figura 54- Lâmpada LED para trocar a atual de 20W

Informação Técnica			
Fabricante	Philips	Nome de Produto	PHILIPS MASTER LEDtube HF 1200mm UO 16W 840 T8 Tubos de LED InstantFit HF T8
Código EOC / EAN	8718696687963	Potência (W)	16
Potência equivalente (W)	36	Abertura Feixe ( ° )	160
Casquilho	G13	Tensão de rede (V)	30-80
Regulável	Sim	Fluxo Lum (Lm)	2500 lm
Intensidade Luminosa (cd)		Código de Cor	840
Temperatura de Cor (K)	4000K (Branco Frio)	Índice de Reprodução de Cores (Ra)	80-89
Garantia	5 Anos	Vida média s/fabricante (h)	50000 h
Vida média (horas)	50000	Tecnologia	LED
Comprimento / Substituição para	1200mm / 36W	Luminaire Driver	Philips Xitanium
Classe Energética	A++		

Figura 55- Lâmpada LED para trocar atual de 36W

Informação Técnica			
Fabricante ⓘ	Philips	Nome de Produto	PHILIPS MAS LEDtube 1500mm HQ 20W840 T8
Código EOC / EAN	8718696687147	Potência (W) ⓘ	20
Potência equivalente (W) ⓘ	58	Abertura Feixe ( ° ) ⓘ	150
Casquilho ⓘ	G13	Tensão de rede (V) ⓘ	220-240
Fluxo Lum (Lm)	3100	Intensidade Luminosa (cd)	
Código de Cor ⓘ	840	Temperatura de Cor (K) ⓘ	4000K (Branco Frio)
Índice de Reprodução de Cores (Ra) ⓘ	80-89	Garantia ⓘ	5 Anos
Vida média s/fabricante (h)	50000	Vida média (horas) ⓘ	50000
Tecnologia	LED	Comprimento / Substituição para	1500mm / 58W
Dimensões Prod. Comprimento (mm)	1500	Diâmetro	26
Classe Energética ⓘ	A++		

Figura 56- Lâmpada LED para trocar atual de 58W